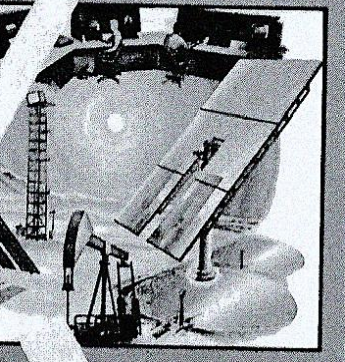
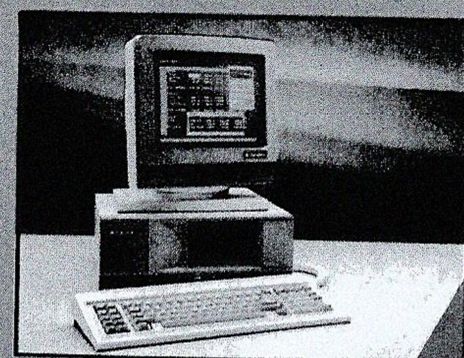
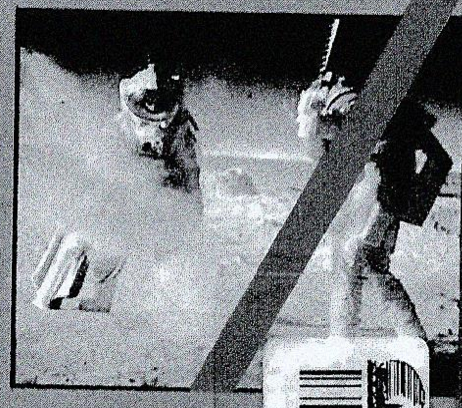
العِلمُ المعاصِر

القرنُ العِشرين









رنيه تاتون
مة أ.د. علي مُقلّد



تاريخ العلوم العام

العلم المعاصر

القرن العشرين

تاريخ العلوم العام

المجلد الرابع

العلم المعاصر
القرن العشرين

بإشراف: رنيه تاتون
ترجمة: د. علي مقلد

المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع

الطبعة الأولى

1411هـ - 1991م



المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع

بيروت - الحمراء - شارع اميل اده - بناية سلام
هاتف : ٨٠٢٤٢٨ - ٨٠٢٤٠٧ - ٨٠٢٢٩٦
بيروت - المصيطبة - بناية طاهر هاتف: ٣٠١٠٣٠ - ٣١١٣١٠
ص.ب: ١١٣/٦٣١١ تلكس: LE ٢٠٦٦٥ - ٢٠٦٨٠ - لبنان

العِلم المعَاصِر
القَرن العِشرين

هذا الكتاب ترجمة :

HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES

publiée sous la direction de

RENÉ TATON

Directeur de recherche au Centre national de la Recherche scientifique

---

TOME III

LA SCIENCE CONTEMPORAINE

VOLUME II

LE XX^e SIÈCLE

par

G. ALLARD, P. AUGER, E. BAUER, B. BEN YAHIA, J.-H. BIGAY, L. DE BROGLIE, J. CHESNEAUX, P. COSTABEL, P. COUDERC, R. COURRIER, A. DANJON, G. DARMOIS, R. DEBRÉ, J.-F. DENISSE, A. DENJOY, G. DESBUQUOIS, J. DIEUDONNÉ, J. DUFAY, D. DUGUÉ, M. DURAND, CH. FEHRENBACH, J. FILLIOZAT, M. FRÉCHET, R. FURON, L. GODEAUX, A. GUINIER, A. HERPIN, P. HUARD, A. IHDE, M. JANET, L. JAUNEAU, R. KEHL, A. LALLEMAND, M. LANGEVIN, F. LE LIONNAIS, J. LE MÉZEC, J.-F. LEROY, J. LÉVY, P. MARZIN, J.-P. MATHIEU, E. MENDELSOHN, P. MONTEL, P. MULLER, R. NATAF, J. ORCEL, J.-C. PECKER, J. PIVETEAU, P. RADVANYI, V. RONCHI, J. RÖSCH, P. TARDI, R. TATON, J. TEILLAC, A. TÉTRY, M.-A. TONNELAT, A. P. YOUSCHKEVITCH, V. P. ZOUBOV

©PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

تمهيد

منذ مطلع عصرنا ، وبصورة فريدة ، منذ الحرب العالمية الثانية ، أخذ العلم يبدو ، وبوضوح متزايد ، وكأنه العنصر الحاسم في مستقبل الإنسانية . لا شك أن العلوم ، وبصورة أساسية العلوم التطبيقية والتقنيات ، هي التي تتدخل مباشرة ، وبشكل متزايد الضغط دوماً ، في حياتنا اليومية . وبشكل خاص من أجل إغناء وإنماء القدرة المادية في بلدانها ، تجهد غالبية الحكومات ، حالياً ، في وضع سياسة فعالة لإنماء « البحث العلمي » . ولكن تقدم التقنيات يتعلق بشكل أوثق بتقدم العلوم المحضة ، في حين أنّ كل تجديد تقني يستخدم حالاً من قبل المنظرين . فضلاً عن ذلك فإنّ كلّ عمل جماعي متماسك بقصد تطوير البحث التقني يجب أن يتناول أيضاً ، وبشكل تفضيلي ، البحث الأساسي .

في حين أنه ، في القرنين السابع عشر والثامن عشر ، نتج التقدم العلمي ، بشكل أساسي ، عن التقديمات الفردية التي قام بها الهواة أو العلماء المأجورين للملوك أو للأكاديميات ، رأى القرن التاسع عشر ظهور التعاون بين الباحثين داخل المختبرات ومؤسسات البحوث المستحدثة إلى جانب مؤسّسات التعليم العالي . وفي القرن العشرين ، تسارع هذا التطور نحو العمل الجماعي ، وذلك من أجل تلافي مفاعيل التخصص المتزايد الذي فرضه التوسع السريع لمجالات العلم ، ومن أجل التمكن من استعمال أفضل للتجهيزات المتزايدة الكلفة ، المطلوبة من أجل الاستمرار في أعمال البحث . ومن المحتمل أن القيمة الثقافيّة العميقة التي تحققت للعلم كانت غير كافية لتؤمن له الدعم المادي المتزايد الأهمية ، والذي تقتضيه تطوراته . ولحسن الحظ تمهّد الطريق أمام هذا التوسع المستمر في موازنات البحث العلمي والتقني ، بفضل التثبت من أن مستقبل كل بلد مرتبط ومحكوم ، إلى حد بعيد ، بالجهود المبذولة في هذا المجال .

إن هذه النهضة في مجال العلم لم تكن إلا لتثير بعض المخاوف التي لها ما يبررها أحياناً وذلك من جراء سرعتها ، وبفعل انعكاساتها التقنية . وعلى الصعيد الفكري ، أوشك التوسع اللامحدود في مجال العلم ، والتقنية المتزايدة في النظريات وفي الاكتشافات ، والتخصص المتزايد والمحصور ، الملحوظ بالنسبة إلى الباحثين ، أوشك كل ذلك أن يخلق سوء تفاهم متزايد

البـروز بين أولئك الـذين يشاركـون في التقدم ، وبين بقيـة البشر ، التي لم تحكم إلا على النتـائج المـادية ، نتيجـة عدم قـدرتها على تفهم روحيـة هذا التـوسع العلمي . وقـد تفاقمت خـطورة هذا الطلاق بفعل التطبيق الآني المباشر للعديد من الاكتشافات لغايـات وأغراض عـسكـرية . وإذا كـان انفجار قنبلة هيروشيما قد كشف ضخامة قوة التدمير التي وضعها التقدم التقني بين أيدي البشر ، إلا أنـه لم يخفف ، في جميع الأحـوال من حدة المنـافسة في هـذا المجال . لاشـك أن العـلـم قـد استـفـاد إلى حد بعيد من هذا الوضع وأن نتائج مهمة متحصلة في الفيزياء النوويـة ، أو في البحث الفضـائي ، كـانت ، بـدون أدنى شـك ، ستتـأخـر كثيـراً لـولا الـدعم الضخم والمـلائم من قبـل المـوازنات العسكـرية أو الشبيهـة بالعسكـرية . إلا أنـه لم يكن بالإمكـان التغاضي عن المخـاطـر القصوى التي تتعرض لها البشرية من جراء هذا الواقع . ونتجت عن ذلك عدة نتائـج سيئة وبصـورة مباشرة ، فمن جهة أولى هناك سياسة التكتم المفروضة بالنسبة إلى بعض البحـوث ذات التطبيقـات العسكرية ، ومن جهة أخرى هناك خوف بعض العلماء الذين يأنفون من متابعة أعمال من شأنهـا إن نجحت أن تؤدي إلى صنع تقنيات تدميرية جديدة .

إن التـطور الحـالي ، في الحيـاة العلميـة ، يتضمن خـطراً آخـر جـد رهيب . إنَّ التنسيق الضروري في مجال البحوث ، والتدخل الحتمي للسلطة السياسية في توزيع الاعتمادات الممنوحة يوشك بالفعل أن يقلص بشكل كبير الحرية المبدعة عنـد الباحثين . فهـذه الحريـة ، التي أضعفتها مقتضيات العمل الجماعي ، يمكن أيضاً أن تعاني من الإهمال النسبي للبحوث المجردة العارية من النفعية لصالح الأعمال المجدية المربحة بصـورة مباشـرة وآنية . فضـلاً عن ذلك ، يستـطيع بعض القادة السياسيين فـرض نوع من التـوجيه التسلطي ، إن لم يكن على الاكتشـافات بـالذات ، فعلى التفسير المعطى لها ، على الأقل . وقد أثبتت الوقائع المتعددة الحديثة نسبياً حقيقـة هذا الخـطر . ولكن نهضة التعاون العلمي الدولي بخلال السنوات الأخيرة قد حسنت الوضع إلى حد كبيـر . هذا التعـاون ، المباشـر والمخلص ، حمل علمـاء العالم كله على اعتبـار أنفسهم ، فـوق كـل حـدود سياسية أو ايديولوجية ، كأعضاء في نفس المجموعة ، متضامنين ، في مشروع الحقيقة المبتغاة .

ورغم عجزهم عن التخلي عن النتائج المتنوعة لاكتشافـاتهم ، يهدف علمـاء اليوم إلى نفس الأهـداف التي ابتغاهـا أسلافهم : إقـامة نـظريات تجـريديـة ، ووصف عالم الفيـزياء [الـطبيعة] واكتشـاف القوانين التي تحكم هـذا العالم ، ثم دراسـة بنية ، وسلوك ، وأواليـات تطور الكـائنات الحية . إنَّ التقدم المحقق في مختلف الاتجاهات هذه ، منذ مـطلع القرن العشـرين ، ضخم ويتجاوز إلى حد بعيد بالعدد وبالضخامة ، التقدم الحاصل في أيـة حقبة من حقب التـاريخ البشـرية . ومـع ذلك ، لا يمكن الحكم بصورة موضوعية على العلم القائم حالياً إلا إذا وضعنـاه ضمن تيار التـاريخ الكبير . وبعض المعجبين المتحمسين جداً للنجاحات وللاكتشافات المتحققة في عصرنا ، يقللون من أهمية العمل الجليل الذي تحقق ، ضمن وتيرة بطيئـة ولا شك ، إنمـا بواسـطة وسائـل بشريـة ومادية محدودة جداً ، من قبل علماء القرون الماضية .

* * *

إن هـذا المجلد الأخير هـو امتـداد للدراسـة الحـاصلة في المجلدات السـابقـة من هــذه المجموعة ، مجموعة « تـاريـخ العلوم العـام » . وهو يسعى إلى وضع لوحة كاملة وموضوعيـة ، ما أمكن ، لمـا حققه القـرن العشرين في ميـدان العلم ، ضمن المنظور العـام للتاريـخ العلمي لـدى البشرية . وإذا كان التصور الإجمالي لهذا المجلد قريب الشبه من التصـور الذي سبق اعتمـاده من قبل ، إلا أن بعض الخصوصيات المنبثقة عن الطبيعة ، وعن ضخامة المجـال المستكشف ، يجب ابرازها .

لقد سبق أن ذكرنا ، بالنسبة إلى القرن التاسع عشر ، الاتساع المتمـادي السرعـة ، في حقل العلم ، والنمو المتسارع جداً في عدد المنشورات ، والتقنية المميزة جداً في غالبية الأعمـال . في القـرن العشرين ، بـرزت هذه المميـزات بشكل أوضـح ، خاصـة بالنسبـة إلى الحقبة الحـديثـة . ويمكن بدون جهد تصور الصعوبات التي تعترض مشروعنا من جراء هذا التسارع في وتيرة التقدم . ففي حين يؤكد أعاظم العلماء المعاصرين أنهم لا يعرفون إلا قطاعاً ضيقاً من العلم ، هل بالإمكـان وضع جردة إجمالية بهذا التطور ؟ أن الإجـابة السلبيـة على هذا السؤال تؤدي إلى نكـران كل قيمـة عميقة لتاريخ العلوم وذلك برد هذه القيمة إلى نوع من البحث الأثري في المعرفة التاريخية . ولكننا نعتقد ، بالعكس ، أن التاريخ يستطيع ويجب أن يـرتبط ارتباطـاً قويـاً بالبحـوث الأكثر جـدة . هذا التصور وحده يعطي المعنى الكامل للاكتشـافات الحـالية ، مـع تحويـل انتباه البـاحثين نحو هـزال وضحالة الفرضيات والنظريات ، حتى ولو اعتمدتها غالبية علماء جيل ما تقـريباً . والتـاريخ بهـذا المفهوم ـ إن نظرت فيه عقول واعية ـ يمكن أن تكون لـه قيمة استكشـافية ، كمـا يمكنه أن يـدل على بعض الخطوط المحتملة للانجـازات المستقبلية . أمـا الجمهور المثقف الـذي يتابـع بالتـالي الأبعـاد العامـة لتطور مختلف فـروع العلم ، فإنـه يستطيـع ـ برأينـا ـ أن يقيِّم ، بالتـالي ، بصورة أفضل الفكر والاتجاهات في العلم الحديث .

* * *

إن المساهمين الكثر الذين شاركوا في هذا المشروع هم علماء معروفون ! وباحثون مميـزون شاركوا بأنفسهم في تقدم مجالات العلوم التي درسوا تطورها . لا شك أن هذا العمل ، على الرغم من الجهـود المبذولة في عمليـة التـوليف والعـرض ، من قبـل هؤلاء المؤلفين ، وعلى الـرغم من العمل التنسيقي الذي قمنا به بمساعدتهم ، يتطلب جهداً أكيـداً من أولئك الـذين يريـدون قراءتـه للانتفاع به . وعلى الرغم من حرصنا على تلافي كل توسيع نـافل ، فقـد كان من المستحيـل علينا التخلي عن استُعمــال بعض التعـابيــر العلميـة ، وحتى بعض المعــادلات ، أو عن شـرح بعض النظريات . فالتخلي يعني تفريغ المؤلف من محتواه وبـالتالي جعله مجمـوعة حكـايات ـ طـرائف تبسيطية .

لقد حرصت الخطة المعتمدة في خطوطها الكبرى على تتبع البنيـة الحاليـة للعلم . وإن هي لم تَنَلْ رضانا الكامل ، فإنَّ وجود جدول مفصَّل بالمواد يتيح ، على الأقـل ، وبسهولـة ، التعويض عن إستحـالـة تحقيق تصنيف طـولي للعلوم . أمـا فهـرس الأسمـاء ، ورغم بعض الثغـرات في

المعلومات ، فهو يضم مادة مستندية تقدر فائدتها من قبل العديد من القراء .

وفي نهاية هذا الاستقصاء الكبير الذي أتاح لنا أن نتتبع مسار الملحمة العلمية الإنسانية ، منذ الحضارات الأولى ، حتى آخر تطوراتها ، فإننا نريد أن نوجه الشكر المخلص إلى كل المشاركين في هذا « التاريخ العام للعلوم » ، الذين ارتضوا أن يتحملوا المشقات المتنوعة التي فرضها تحقيق مشروع بمثل هذا الاتساع ، لم يسبق إليه أحد وبمثل هذا المستوى . وكذلك نوجه الشكر إلى كل الذين أتاحت مساعدتهم الثمينة الوصول بهذا العمل إلى غايته .

رنيه تاتون

مقدمة

الوجه الجديد للعلم

لا يشك أحد أن العلم قد أصبح ، في القرن العشرين هذا ، في مصاف العامل الإجتماعي الكبير . والأمم الجديدة تتوجه إليه سعياً وراء التقدم الاقتصادي السريع . ونحوه أيضاً تتجه الأمم القديمة عندما تريد أن تسترد مزيداً من القوة للتغلب على أزماتها السياسية أو المالية . علماً بأن المعرفة ليست بذاتها هي التي تقدم الحل لهذه المسائل ، بل العمل الذي يمكن أن ينتج عنها ، وذلك بسبب اكتشاف مقدّرات جديدة تنم عنها .

ويصبح من الصعوبة المتناهية ، في القرن العشرين كما في القرن التاسع عشر ، فصل المعرفة العلمية عن العمل الذي ينتج عنها ، وهذا الرابط الضيق يتضمن نتائج مهمة : فمن جهة ، أن الوقت الذي يفصل الاكتشاف المخبري عن دخول تطبيقاته في الحقل الإجتماعي قد تضاءل تماماً . إنّ هذا الوقت المخاضي ، بعد أن كان يقاس بعشرات السنين ، في منتصف القرن التاسع عشر ، قد أصبح بضع عشرات من الشهور ، وأحياناً أقل من ذلك بكثير ، وانعكاسات هذا القصر قد برزت بشكل خاص في حقل اقتصاد المشاريع ، إلا أنها قد تكون ذات أهمية إجتماعية وسياسية ، كما هو الحال في التسلح . ومن جهة أخرى ، أن العالم ، هذا الإنسان الذي يكرس الأساسي من نشاطه للبحث العلمي ، مدعو بقوة وباستمرار إلى الاهتمام شخصياً بما يمكن أن ينتج عن أعماله الموجّهة ، في الأصل ، إلى زيادة المعرفة الخالصة .

إن سيكولوجية باحث المختبر تتحول أمام أعيننا ، وهذا التحول له بالضرورة انعكاسات على تقدم العلم بالذات . وأخيراً إنّ الوسائل التي يستطيع العالم الحصول عليها من أجل أعماله ، حتى ولو كانت ظاهرياً بعيدة جداً عن كل تطبيق مربح ، قد تزايدت بشكل كان يمكن أن يبدو مسرفاً للغاية في زمن باستور Pasteur ، بسبب الآمال التي تعلّقها الحكومات والمشاريع ، بشكل عام ، على نتائج البحوث العلمية . إنّ هذه الوسائل تضع تحت متناول الباحثين تجهيزات ومعدات كانت في الماضي فوق المتناول ، تجهيزات ومعدات تحملهم على التجمع بشكل مجموعات وفرق عمل من أجل تأمين استخدامها واستثمارها .

من المعلوم أن هذه المجموعات والفرق لها مستلزماتها الكبرى من الأفراد سواء كانوا باحثين علميين متفرغين أم مساعدين ومهندسين ضروريين في مختبرات حديثة . إنّ تأهيل هؤلاء الأفراد هو أيضاً بذاته مسألة ذات حضور عال بالنسبة إلى كل البلدان .

ما هي إذاً ميزات هذا العلم ، في القرن العشرين ، التي أوصلت إلى مثل هذه التغييرات في أسلوب تطبيق هذا العلم وتعليمه ، والتي منحته هذه المكانة الرفيعة في مدرج العوامل الإجتماعية ؟

أكتفي هنا بدراسة أربع من هذه الميزات ، تتعلق تباعاً بسرعة نمو المعرفة ، وباتساع المجالات التي تمارس فيها هذه المعرفة ، ثم طوبولجيا هذه المجالات ـ أي النظر إلى أوضاعها وعلاقاتها المتبادلة ـ وأخيراً التحويل النوعي الذي وضع دراسات البنية في المقام الأول من اهتمامات الباحثين .

نمو العلم ـ لقد قيل وتكرر القول أن العلم ، في مجمله ، يتبع تهجاً تزايدياً سريعاً . وبالفعل إنّ كل المعايير التي تسمح بتقدير هذا العلم تقديراً كمياً ـ مثل عدد الباحثين ، وعدد المنشورات الأصيلة بالسنة ، وعدد الاكتشافات بخلال هذه الفترة نفسها ، أو النتائج التي أفضت إلى تطبيقات عملية ـ كل هذه المعايير تفترض تضعيفاً في كل عقد . ضمن هذه الشروط ، كان على تاريخ العلم بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر أن يتكرر بخلال النصف الأول من القرن العشرين ، إنما بخمسة أثمان أكثر : ثم ، بنوع ما هذا صحيح ، إنما من وجهة نظر الإحصائي وفيما خص مجمل العلوم ، إذ أن مع النظر في الأمر من قرب ، يبدو هذا التصور بعيداً جداً عن الواقع . فقبل كل شيء ، يجب أن نلاحظ أن العامل 30 ـ في حين أنّ الكثير من النشاطات الأخرى ، عند الإنسان ، حتى في مجال الفكر ، كانت أعجز من أن تتابع مساراً مسرعاً إلى هذا الحد ، ولم تحقق إلا تقدماً مضاعفاً أو مثلثاً ـ يحوّل تماماً موقع العلم في المجتمع . وهذا النمو العلمي توقف هنا عن أن يكون عاملاً اجتماعياً ذا أثر بطيء وضعيف ، ليصبح عاملاً ذا مفعول سريع وقوي . وبالتالي ، إنّ تأثيره غيّر التوازنات بين العوامل الاجتماعية الأخرى المتنوعة ، وهذا التغيير ، بدوره ، كان له أثره على تطور العلم بالذات . من ذلك مثلاً ، أن المستوى الصناعي ـ أو مكانة العلوم في الصحافة ، كتب وصحف يومية ـ أثر بقوة في صفة النمو العلمي ، منذ العقود الأولى من القرن ، وبصورة أكبر بخلال العقود الأخيرة من نصف القرن .

ومن جهة أخرى ، أن النمو المتزايد بكثافة ، أعجز من أن يعطي صورة صحيحة عن تقدم العلوم ، خاصة عندما نحلل هذا التقدم من خلال المجالات المتفرقة ، وفي المناطق المتنوعة من العالم أو بخلال الحقب الزمنية . وفيما يتعلق بمختلف فروع العلم ، فإنها لم تتوجد بذات اللحظة ، وعلى نفس المستويات من نموها ، وبعض المجالات العلمية المعقدة ، أو الحديثة العهد ، ربّما لا تزال في مرحلة تعريف المفاهيم الأساسية ، أو في مرحلة تجميع الوقائع وتصنيفها ، في حين أن علوماً أخرى تقوم بوضع المبادىء العامة الكبرى : ونذكر هنا العلوم الاتنولوجية والفيزياء مثلاً .

هذا الوضع النسبي قد تغير إلى حد كبير بخلال النصف الأخير من القرن ، محولاً بالتالي

نظام التأثيرات المتبادلة بين مختلف الفروع العلمية ، وداعياً إلى مراجعة عميقة لتصنيفاتها . إن مثل هذه الفروقات في سرعة النمو برزت داخل بعض المجالات بين مظاهرها النظرية والتجريبية . وتتلقى المظاهر النظرية أحياناً تغيرات مفاجئة ضخمة بفعل تدخل مفكر واحد أو مجموعة صغيرة ، في حين تتبع التجريبية عموماً حركة أكثر انتظاماً ، إلى جانب بعض الاكتشافات المهمة . ولهذا أمكن ـ في مجال الفيزياء ، وبخلال النصف الأول من القرن العشرين ـ ملاحظة تراجع النظرية أمام التجربة ، ثم تقدم ساحق للنظرية يطرح العديد من المشاكل الجديدة ، ثم ربما بالعكس في الوقت الحاضر ، نوعاً من تخلف النظرية عن استيعاب التدفق العظيم لنتائج التجارب المكتسبة في مجال الجسيمات الأولية . إنّ الاستراتيجيا العلمية تستدعي تركيز الجهود مرة في مجال معيّن ، ومرة في مجال آخر ، على النظرية أو على التجربة : ولكن الناس هم بالضرورة متخصصون في وظائفهم بالذات ، وتكيفهم مع مجال جديد ، وإن بدا ممكناً في أغلب الأحيان ، يتطلب الكثير من الوقت ومن الجهود . ثم هناك تصلب الكادرات الإدارية والاجتماعية ، العاملة في مجال البحث . . . ورغم ذلك نشهد حركات مفيدة ، مثل انتقال العديد من الفيزيائيين والكيميائيين نحو البيولوجيا الحديثة الخلوية والجزيئية .

والنمو سواء كان متسارعاً أم غير متسارع في تصعيده ، يبقى تصعيدياً في جميع الأحوال ، وفي جميع المجالات العلمية بحيث جرُّها إلى توسيع مجال دخول الإنسان بمعرفته وإلى تحكمه بفعل عمله . سواء تعلق الأمر بالأطوال أو بالأزمنة ، بالطاقة أم بالضغوطات ، فإن سلالم قيم هذه المعايير التي تجوب بشكل اعتيادي أجهزتنا قد تزايدت واغتنت بالعديد من المثقلات العشرية بخلال الخمسين سنة الأخيرة . ففي حين كان الاعتقاد سائداً في القرن الماضي أن الاستيلاء على كسر أو كسرين عشريين ربما يمكن من تبرير وجود مجال علمي جديد ، ها هم العلماء يقدمون لنا مرة واحدة خمسة كسور عشرية جديدة . وبدا من الضروري وضع نظام تسميات جديد ، لأنّ نظام « الميلي » و« الكيلو » لم يعد يكفي ، وكذلك نظام « الميكرو » و« الميغا » وها هي تسميات « الجيغافولت » و« النانو ثانية » قد أصبحت شائعة . وأصبح من الطبيعي ، ومن مقتضيات الأشياء أن يتجاوز الإنسان المجالات الواقعة في متناول حواسه ، ولكن مثل هذا الانفجار لم يكن متوقعاً من أحد ، حتى من قبل الباحثين في الاستباق العلمي . وهذه بعض الأرقام التي تعطي عدد المثقلات العشرية من السلالم المتاحة سنة 1900 و1960 : أن الأطوال انتقلت من 10^{20} إلى 10^{40} ، والزمن من 10^{10} إلى 10^{16} ، والحرارات من 10^{5} إلى 10^{16} ، وفي كل مرة مكتسبات من عيار المليون وأحياناً أكثر بكثير . ومن الواجب أيضاً ذكر معايير أخرى ، سوف نلتقيها فيما بعد ، منها معيار النقاوة ومعيار الدقة . ان المنتوجات الصافية كيميائياً والتي كانت في الماضي ، قد تجاوزتها المعادن وأشباه المعادن المنقاة المصفاة بفضل طريقة المناطق : فقد أمكن التوصل بسهولة إلى نقاوة بمعدل واحد على مليون . وتشدد الذريين حمل على صنع العديد من الأجسام ذات النقاوة الأعلى أيضاً . وبالنسبة إلى بعض البلور ، أصبح وجود شائبة من معدل واحد على مليار قابلاً للاكتشاف . وأصبح الفيزيائي اليوم أكثر تشدداً من الكيميائي ، فيما خص النظافة ، وفيما خص نقاوة الأجسام المستعملة أو نقاوة السطوح .

والمسألة التي تخطر بالبال أولاً هي التالية : كم من الوقت يستمر هذا السباق المرعب ؟ ألم نقترب من الأبعاد التي تفرضها بنية كوننا ؟ نأخذ حالة الأطوال . أن الحجم الشامل للكون المدرَك بفضل آلات الرصد الفلكي الراديوية هو من معيار عشرة مليارات سنة ضوئية . وبعد ذلك يصبح تنقل الطيف بحيث يتوجب في الحال التوقف عن التعرف على أي شيء مهما كان . وفي اتجاه الصغر ، هناك مؤشرات تدل على وجود طول أدنى ، تحته تصبح مفاهيم المسافة غير قابلة للتطبيق . والسلم عندها يصل إلى 40 أو 50 تثقيلاً للعشرة ، بحيث لا يمكن تجاوزه . وسلم الزمن مرتبط تماماً بسلم المسافة بحيث تطاله نفس الحدود . أما وضع المعايير الأخرى فيمكن أن يظهر بشكل مختلف ، ومع ذلك فمن المحتمل عجزنا عن الاستمرار في إضافة ستّة أسّات فوق العشرة كل نصف قرن من الزمن .

توسع طوبواغرافيا المجالات العلمية ـ إنّ العبارات التي استعملناها لوصف تطور المعارف العلمية مأخوذة عن صور مرئية وتكاد تكون جيومترية : توسع المجالات ، واكتشافها ، واتصالاتها الممكنة . وهكذا ننقاد إلى بعض التأملات ـ يصفها الرياضيون أحياناً بأنها طوبولوجية [الطوبولوجيا : فرع من الرياضيات يهتمّ بتحليل التغيّرات في مواقع الأشياء . . .] ـ وذلك من أجل تمييز الوضع المقابل لمناطق المعرفة والجهل في المجمل الكبير لما يمكن أن يعرف بالفعل في يوم من الأيام . ويبدو لي هنا أنه قد حدث تغيير كبير مهم بخلال النصف الأخير من القرن . إن المجالات العلمية الكلاسيكية القديمة ، بعد تعميق وتوسيع مجالها التقلدي ، قد تواصلت فيما بينها في بعض من مناطقها الحدودية ، فولدت سلسلة من المعارف المختلطة : بيوكيمياء وبيوفيزياء ، والكيمياء الفيزيائية والكيمياء الرياضية ، اتخذت مكانها إلى جانب السلسلة الخطية في تصنيف أوغست كونت Auguste Comte .

وربما ، إذا ذهبنا إلى أبعد ، نستطيع أن نصف الوضع القديم وكأنه مجموعة جزر من المعارف ، محاطة ومفصولة بخضم واسع من الجهل ، في حين تظهر المعرفة اليوم وكأنها تشكل قارات واسعة تربط فيما بينها برازخ ، داخلها توجد بحار كبرى داخلية من الجهل . أن هذه الصورة ربما تكون شديدة التفاؤل ، ولكنها تبدو وكأنها تمثل رمزاً صحيحاً للحركة العجيبة ، حركة التوليف التي تجدث أمام أعيننا . وسوف نرى فيما بعد على أية أساسات يمكن الأمل بتحقيق هذا التوليف ، في حين أن المحاولات القديمة ـ التي جرت انطلاقاً من الأفكار النيوتنية وحدها ـ لم تستطع الذهاب إلى أبعد . وأضيف بأن الشعور بالمشاركة في واحدة من لحظات مثل هذا المشروع العظيم ، يجب أن يكون أحد محركات حماس الباحث والمفكر العلمي ، مضافاً إلى افراح المغامرة والاستكشاف . إنّ الرغبة العميقة بالوحدة (unité) ، والتي تتوجد عادة لدى كل إنسان ، هذه الرغبة بالذات التي حملت في الماضي على إنشاء الأنظمة العالمية المرتكزة على المشابهات السطحية وحتى على التماثل السطحي المصطنع في بعض الكلمات ، تتلقى بالنسبة إلى المشتغلين بالعلم ، ارضاءً حقيقياً هذه المرة . ويمكن أن نقول بتواضع ، وحتى لا نقدم أمالاً وهمية ، أن بعضاً من التركيبات العريضة والجزئية ـ والتي أصبحت كلاسيكية مثل التركيبة التي تتضمن كل الاشعاعات الكهرمغناطيسية ، منذ أشعة « غاما » (γ) الكونية إلى الموجات الطويلة في

الراديو ـ قد ألحقت بها اليوم سلسلة من التركيبات الأخرى الجزئية الأكثر فأكثر اتساعاً ، والتي بشأنها لا يمكن الرجوع إلى الوراء اطلاقاً .

وإذا كانت جزر المعرفة قد أصبحت قارات ، فإن هذه الاخيرة لم تعد موصولة فيما بينها بشكل أكيد جداً ، ولكن هذا الاتصال بالذات قد يحدث سريعاً ، وعندها يتم بلوغ مرحلة من البحث تذكر بالحقبة النهائية ، حقبة وضع قطع لعبة من اللعب التي تتطلب الصبر : فيتم البدء بتراكيب صغيرة محلية ، ليس لها فيما بينها أي رابط ، ولا أية مواقع نسبية جيدة التحديد ؛ ثم تتكون جسور ، وتتشكل شبكة ، ولا يبقى إلا سد الثغرات في الصورة التي تتحدد سماتها الكبرى نهائياً . ومع ذلك ، فإننا لم نصل بعد إلى هذا ، والكثير من القطع ما يزال مفقوداً ، ولا نزال نحن نفتقر حتى إلى شكلها .

هذا التحول في وضع الباحث أمام الطبيعة ، هو بالطبع ، نتيجة التقدّم العام ، تقدم المعارف . أنه لمن الواجب المحتوم ، بنوع من الأنواع ، أن تخلف حقبة القارات حقبة الجزر ، عندما تتنامى الأراضي المشتركة . ولكن هناك فائدة في التمادي في تحليل هذا الانتشار ، حتى ولو من أجل الاستعداد للمستقبل . ونرى عندها أن التطور لا يقوم أساساً على نوع من التوسيع المتصاعد للجزر التي تكلمنا عنها أعلاه ؛ إنّ مجالات المعرفة تبدو أحياناً متباعدة ، تفصلها مناطق مجهولة ، كما هذه النيران في الغابات ، التي « تقفز » ثم توصل ، فيما بعد ، وبسرعة المناطق الجديدة بالحدود القديمة ذات الحركة البطيئة .

إن بعضاً من هذه القفزات ـ المتطابقة مع ظهور فكرة جديدة تماماً والتي حولها تنتشر وبسرعة غير معهودة ، بالخالص ، جبهة جديدة من الاكتشافات ـ قد تكاثرت عدداً ـ عند منعطف القرن ، ومن جديد حول سنة 1930 ، بالنسبة إلى الفيزياء . ومنها : أشعة X ، و«نشاط الإشعاع » (Radio - activité) ، والكانتا من جهة ، ونظرية النسبية من جهة أخرى بين 1895 و1905 ، ثم تلاها توضيح بنية الذرة بين 1913 و1928 ؛ ثم الميكانيك التموجي والنترون (النيوترون) . بخلال هذه العقود الثلاثة ، استقرت كل الأسس الجوهرية للأفكار القائمة حالياً حول بنية المادة ، على الصعيد الذري وعلى الصعيد النووي ، وبعدها أصبحت التطورات اللاحقة محتومة نوعاً ما .

وربما أستطيع هنا أن أقترح تمييزاً بين فئتين من الاكتشافات العلمية ، وهذا دونما أي إشراك لفضل العلماء ، بل ـ بصورة أولى ـ الاكتفاء فقط بموقع اكتشافاتهم في المنظور الطوبولوجي الذي عالجته أعلاه . وعودة إلى تعبير استعملته منذ لحظة ، هناك اكتشافات هي ، نوعاً ما ، محتومة ، يتوجب أن تحدث في حقبة من الزمن محدودة نوعاً ما ، بفعل نشاط البحوث وبعدد الباحثين في المجال الموازي من العلم . ومرة أخرى أيضاً ، لا يتعلق الأمر هنا بكفاءة الباحث ، وسوف أقدم الدليل على ذلك ، آخذاً كأول مثل ، اكتشاف أشعة X من قبل رونتجن Röntgen . أظن أنه نظراً إلى عدد الفيزيائيين الذين كانوا يلعبون بأنابيب كروكسCrookes ، لم يكن بالإمكان أن يمضي كثير من السنين قبل أن تلحظ مفاعيل أشعة X إما على الشاشات المفلورة ، وإما على الصفائح الفوتوغرافية ، أو على المكشاف الكهربائي . وإني أضع بالمقابل كاكتشاف غير محتم ،

وبأمد قصير ، الاكتشاف الذي حققه هنري بيكريل (H. Becquerel) . وكان يمكن أن يمضي نصف قرن قبل أن يتم إثبات تفكك الأورانيوم . لقد كان رونتجن في أساس أعمال فون لو Von Laue ، وآل براغ Bragg وموزلي Moseley الخ . ونجد هنا سلسلة جميلة من الأعمال التي مكنت من تقدم مفاجيء ، ومدت جسراً بين مجالات ظلت حتى ذلك الحين منفصلة عن جزر المعرفة ، مثل مجال البلورات ، أو معنى جدول منـدليف Mendéléev . لقد غرس بيكريل ومرة واحدة علم الفيزيائيين والكيميائيين فوق قارة جديدة . وفي مجال النظرية ، يمكن اجراء مقارنات مماثلة بين « النسبية » الضيقة و« النسبية » العامة . بالنسبة إلى الأولى ، لقد لامسها برانكاريه Poincaré وآخرون ؛فضلاً عن ذلك ، ان تجارب ميشلسون Michelson ومورلي Morley لم تدع الفيزيائيين ينامون . وبالنسبة إلى الثانية ، كان بإمكان الظاهرات الفلكية غير المفسرة أن تنتظر أيضاً عدة سنوات . وكذلك « الكانتا » التي اكتشفها « بلانك » Planck كان يمكن أن لا تظهر إلا بعد عشرين أو ثلاثين سنة ، بعد أن فرضتها يومئذ مفاعيل الكهربائية الضوئية . فضلاً عن ذلك يمكن تخيل عدد المختبرات التي كان يمكن أن تظهر (أوانها قد أظهرت أحياناً) وبآنٍ واحد ، بعض الاكتشافات التي كانت « عالقة في الهواء » . فكروا بظروف اكتشاف رونتجن واكتشاف بيكريل من هذه النقطة . أما بلانك ، فإن أحداً لم يقترب من حله لمسألة الأطياف . ونفس التمييز ربما يقع بين دور لويس دي بروغلي Louis de Broglie ودور شرودنجر Schrodinger .

عدم التتابع ، البنية والاعلام ـ من المؤكد ، في جميع الأحوال ، أن بعض الاكتشافات التي طبعت بطابعها ، خاصة في الفيزياء ، مشارف سنة 1900 ، هي من الاكتشافات التي فتحت الأبواب على مجالات جديدة تماماً . بل أقول أنها أعطت توجهاً جديداً خالصاً للفيزياء ، وبالارتداد لمجالات أخرى مثل الفلك ، والبيولوجيا والكيمياء . وإذا توجب أن يتميز هذا التوجه بفكرة بسيطة فإني أختار فكرة « البنية » . أن قسماً كبيراً من العلم في القرن التاسع عشر قد وضع تحت شعار استمرارية القوانين من النمط النيوتني (نسبة إلى نيوتن) . ومثّل الترموديناميك ، والكهرمغناطيسية الكلاسيكية ، سبل تطوير مثلى ، وأصبح بالإمكان الظن أن مظاهر الكون سوف تتسجل أخيراً ضمن مثل هذه الأطر . صحيح أن بعض المجالات بقيت مستعصية بشكل فريد ـ من ذلك مثلاً مجال أطياف الخيوط الضوئية ـ وأن بعض مجملات الوقائع بدت وكأنها ستبقى لمدة طويلة ضمن فئة « المعطى غير القابل للتفسير » مثل جدول العناصر الكيميائية ، ولكن الأمل بالنجاح في فهم العالم عن طريق استخدام القوانين المستمرة وحدها ظل باقياً ، وربما مطبقاً على عناصر غير قابلة للتصفية يتوجب عندئذ وبكل بساطة تقبلها كما هي . وعلى العموم ، هناك نوع من امتداد الكون النيوتني ، متضمناً أجساماً معينة ، من الأساس وغير قابلة للفهم ، إلا أن كل علائقها تكون محكومة بقوانين ترضي العقل .

وفجأة وبالضبط مع مجيء القرن الجديد ، حدث تمزق أدخل عدم الاستمرارية في صميم المجال الذي كان توقعها فيه هو الأقل ، وهو مجال الطاقة ، هذا المكسب العظيم للترموديناميك ، هذا النمط الفيزيائي العظيم ، هذا الجوهر البسيط الذي ينتقل دون ضياع من نظام إلى آخر ، وجد فجأة محكماً مبرمجاً ، وتوقفت المبادلات عن أن تخضع لقوانين الرياضيات الجميلة المستمرة

وتعلقت بحساب ذي مظهر طفولي . ولكن الأمر لم يكن إلا بداية تحول كبير في العلم ، متوافق مع توجه مصمم نحو دراسة الهيكليات . وإذا كانت مجالات العلم غير الفيزياء لم تتلق تحولاً ملحوظاً إلى هذا الحد اثناء تدخل الكائنات ، فإن تأثير طرق الاستقصاء الفيزيائي المؤدية إلى الدراسات البنيوية ، قد برز بقوة شديدة في الكيمياء والبيولوجيا في القرن العشرين . وأصبحت الصيغ المتطورة في الكيمياء نماذج حقة ، تمتلك أحجاماً وزوايا قابلة للقياس . أن تحليل مركبات البروتوبلاسما الخلوية أدى إلى التعرف ،فيها ، على أشياء مصورة متناهية الصغر من أحجام الخليات الكبيرة ، مما جعل البيولوجيا الخلوية منعطفاً بين الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا . ويمكن القول أن الرياضيات نفسها قد طورت منذ عدة عقود مفاهيم تجريدية ذات طبيعة بنيوية .

ومن بين المجالات الجديدة المفتوحة أمام العلم بفضل الدراسات البنيوية ، يجب ذكر مجالات الخلايا الجامدة والكبيرة . في القرن الأخير كانت الجوامد تعتبر وكأنها تشكل أشياء كثيرة التعقيد يصعب وصفها بالتمام والكمال ، من قبل علم ، بل يصعب درسها درساً مجدياً :

إن الموضوع المثالي ظل الغاز ، المحدد بعدد قليل من المعايير الثابتة (Paramètres) ، وبدرجة أقل السائل الذي اكتشفت فيه ، سابقاً ، بنيات زائلة صعبة الدرس . وباستثناء البلور ، الذي ظلت دراسته ماكروسكوبية (تعنى بالأشياء الظاهرة لا الدقيقة) ، لم تكن الجوامد مجالاً لتجارب منتجة حقاً : أن العديد من العينات من نفس الجسم كان يختلف بعضها عن بعض بتاريخها ، وحتى نفس العينة تختلف عن نفسها في الزمن بشكل غير متوقع علمياً . وإنه لمن مكاسب القرن العشرين الكبرى النجاح ليس فقط بالتغلب على هذه الصعوبات ، بل وحتى بالإكثار من استخدام الجوامد بشكل عجيب . وبالضبط لأن الجوامد تحتفظ بآثار باقية عن الأحداث التي مرت بها ، يمكن تكوين تشكيلة كبيرة من الجوامد التي تمتلك خصائص خاصة محددة ومفيدة في العلم والتقنية ، وفي الاستعمال العادي . وبالضبط لأن للجوامد تاريخاً ، يمكن استخدامها لتكون مذكرات مصطنعة ذات قدرة غير محددة . والواقع ، يمكن القول أن الاستخدام العملي قد استعمل في كل وقت هذه الخصائص في الجوامد : بواسطتها أمكن دائماً صنع الأدوات والاجهزة ، وإليها أسندت المحفوظات الباقية والمراسلات ، وإليها تمّ اللجوء من أجل إعادة تكوين الأحداث الماضية . ولكن الآن فقط ، بعد أن تولى العلم الجوامد بعنايته ، أمكن الإفادة منهابشكل معقول وكامل .

في مجال الجزيئات الكبرى يمكن أن نلاحظ تطوراً من نفس النمط . في القرن الأخير ، أمكن ـ إلى جانب الأجسام التي يمكنها أن تتبلر ـ ملاحظة وجود أجسام أخرى ظلت بدون هيكلية حتى في حالة الجمودية ، وكانت تسمى معجنات (كولّويد) سنداً لحالة من حالاتها النمطية وذلك هو حال الهلام (الجيلاتين) . فالمعجنات المذابة ، أو على الأقل الموزعة في مذيب مثل الماء ، لا تتشتّت إلى جزئيات أو إيونات مثل « المتبلرات » ، بل تبقى مجموعة ضمن مجموعات ذات أحجام أكبر ، تسمى ببساطة « غبائر » [Micelles جزئية من قياس 0,001 ميكرون إلى 0,3 ميكرون] ، مما يدل على الجهل الكامل السائد بشأن طبيعتها . هذه الغبائر كانت تبدو ذات شكل

غير محدد ، متغيرة ـ وككل الأجسام الجامدة التي سبق ذكرها ـ غير مشجعة . لقد غيَّر قرننا كل هذا ، وذلك حين توصل إلى البنية الحقيقية للغبائر التي اعتبرت جزئيات كبرى ، وإلى طبيعة غالبية « اللدائن » فاتحاً بذلك فصلاً جد كبير في البيوكيمياء . وقد أدت هذه البنيات ، فضلاً عن ذلك ، إلى تحقيق تكوين جزئيات تركيبية كبرى ، بشكل منتظم ، سمّيت « الأمهات المتعددة » (Polymères) ، تقليداً للموجودات الطبيعية ، بل وحتى توسيعاً لمجالها .

وبعد الدخول في التفصيل الدقيق جداً في بنية بعض الخلايا الكبرى ، استطاع علم القرن العشرين ، أخيراً ، التعرف على طبيعة السند لما كان القرن الماضي قد أشار إليه بكلمة عامة هي كلمة « خصوصية » (Specificité) . لماذا أظهرت بروتينات متنوعة ـ ذات تركيب كيميائي شامل ، ومتشابهة تماماً ـ خصائص متنافرة جداً ، تجاه الكائنات الحية أو تجاه بعضها البعض ؟ نحن نعرف الآن أن هذه الخصائص العلمية مدونة بشكل « أخبار » ، أي بشكل سلاسل متتالية ، أو ، بشكل عام ، على هيئة ترتيبات في فضاء عناصر مبنية يمكن أن تكون متعددة جداً ، إنما منتمية إلى عدد صغير جداً من الأنماط . أن الموازاة بالإعلام الموجود في صفحة من الكتابة ، بالترتيب الخاص للعناصر المتعددة الداخلة ضمن الألفباء ، هي موازاة ملفتة . وقد يكون من المفيد إعلاماً التذكير ، في هذا المجال ، كيف تمت الإفادة من هذه الخصوصية ، قبل التعرف الأولي عليها ، في الطب ، ثم كيف عرفت وأمكن تحليلها وانتاجها صناعياً . لقد قدمت هذه الخصوصيات ، بشكل طبيعي ، النباتات التي كان لبعض منتوجاتها فائدة معروفة منذ العصور القديمة . وهناك خصوصية أدق وأوضح ظهرت بعد اكتشافات باستور Pasteur ، كمنتوج طبيعي ـ إنما ضمن تحفيز مفتعل صناعياً ـ مستخلص من الحيوانات . وفي حقبة القرن العشرين تم التعرف على بعض المركبات الكيميائية التركيبية ذات الخصوصيات الملحوظة في مقاومة الباكتيريا ، وذلك بذات الوقت ، مع مستحضرات طبيعية من النباتات هي المضادات الحيوية . وأخيراً أتاحت دراسات البنية الخلوية فهم السبب لبعض هذه الخصوصيات ثم انتاج بعض المواد الطبيعية بصورة اصطناعية . ان المحاولات المنهجية في الكيمياء الاحيائية الصيدلانية الحديثة ، وكذلك أعمال تركيب الجزيئات المعقدة ، كل ذلك بدا واعداً للمستقبل ، مع فهم أشمل للخصوصية ، وللإمكانات الضخمة المأمولة من العمل الطبي . من المعلوم أن نظرية الاعلام قد اتخذت في كل العلوم مكانة متزايدة الأهمية ولم يتح لها ذلك إلا بسبب هذا التحليل البنيوي الذي أشرنا إلى نموه والعلاقة العميقة مع نظرية حالة الجمود ، مثل الخلية الكبيرة والجينة الكروموزومية (الصبغية) ، والصفحة الكتابية ، والتسجيل على قرص أو على شريط مغنطيسي ، والبطاقة المثقوبة ، والكليشه الفوتوغرافية ، وكلّها دعامات متينة قويّة لإعلام تتضمنه بنية ميكروسكوبية .

إن هذه الأعمال حول الاعلام تلقي ضوءاً على كل البيولوجيا ، وعلى الكيمياء وعلى المجالات الأخرى العلمية في مستوى العلوم الإنسانية فتقيم بينها روابط وممرات وتتيح لها رؤى إجمالية لم تكن مأمولة على الاطلاق لبضع سنوات خلت . والمقارنة مع التوحيد بين مختلف الميادين ، هذه المقارنة التي أتاحتها في زمنها فكرة الطاقة ، سوف تكون متّفقة بمقدار ما يوجد بين الطاقة والإعلام نوع من التكامل ولا شك ، كما هو الحال بين المادة والشكل . وعلى سبيل الدعاية

يمكن العثور على هذا التكامل بين المهندسين الكهربائيين الذين ينقسمون إلى فئتين متمايزتين تماماً : مهندسو « التيارات القوية » الذين يخدمون الطاقة ومهندسو « التيارات الضعيفة » العاملون في الإعلام . أن العصر الحديث قد شاهد بشكل من الأشكال الطاقة المفصلة عن طريق الاعلام . والاعلام والطاقة لا ينفصل أحدهما عن الآخر ولا يوجد إعلام بدون طاقة حرة مهما كانت ضعيفة . وكل الاعلام المتوفر عن طريق الراديو أستروتوم (علماء متخصصون في دراسة الاشعاعات) منذ بداية هذه التقنية ، لا يقدم في مجال الطاقة إلا بعض الارغات (وحدات قياس الطاقة) التي انتقلت في المجرات إلى آلاتنا اللاقطة .

إن دراسات البنية قد بلغت ، عبر التحسينات التقنية ، مستويات يزداد عمقها . فبعد بنيات البلورات والجزيئات والذرات ، ثم إخضاع هذه البنيات للقوانين الرياضية الملائمة ، وبعد النجاحات الكبرى في ميكانيك التأرجح والنظرية الكانتية (نسبة إلى كانتا) في الحقول الكهربائية المغناطيسية ، جاء دور الجسيمات الأساسية جداً لتخضع للتحليل البنيوي . وكشفت النوى عن مستوياتها ، وبدت جزيئات الأجناس المختلفة تعيش فيها حالة وجود عابر . أما البروتون (الأوّل) فلم يكن شيئاً بسيطاً بل كشف عن تفصيلات داخلية محتملة . ولكن هنا بدا مظهر جديد لعلم القرن العشرين ، يمكن أن نميزه كتحليل لفكرة الوجود الموضوعي . وقدم لنا الميكانيك التأرجحي ، كنتيجة للحساب ، ليس الأوضاع المتتالية للجسيمات وحركاتها ، كما هو الحال في الميكانيك السماوي ، بل قدم لنا احتمالات وجود هذه الجسيمات في مختلف الأمكنة . بصورة أدق جاء مبدأ اللايقين يحدد العلاقة بين التوضيحات الممكنة البلوغ في تحديد موقع جزيء وفي موقع حركته . ولم تكن الدقة المتزايدة في القياسين في آن واحد ممكنة بل بقي هناك نوع من الخلية ذات القيمة الكونية ، مرتبط بثابت بلانك Planck وفي داخلها لا يمكن لأي قياس أن يدخل . أية حقيقة موضوعية يمكن أن يقدمها المفهوم البديهي جداً حول الموقع وحول مفهوم السرعة ، وهو المفهوم الأقل ارتباطاً ؟ لا شك أن الأمر يتعلق هنا بالأبعاد الصغيرة جداً ، كما أن الأشياء تبقى على حالها ، في ما يتعلق بالعالم عند مستوانا . إلا أن هذه « الاحتمالية » وهذه اللايقينات قد تبلغ أحياناً مستويات ناشطة في عملية الحياة .

وفي المستويات التي هي أبعد ، أي المستويات داخل النوى وداخل الجزيئات العارضة ، ذات السمات الغريبة نوعاً ما والتي أتاحتها فيزياء الطاقات الكبرى ، يبدو أن العلم قد اقترب من التحولات الجديدة ، كما أوحت بذلك الصعوبات التي ظهرت في مسائل التقابل التي سميت مسائل التعادل . وهنا أيضاً الحتمية ، التي يشكّل مبدأ كوري Curie ـ أو مبدأ المناظرة أو التقابل ـ أحد عناصرها الأساسية ، لا تستقيم إلا بصعوبة أو حتى بصورة جزئية . إنما الواقع الموضوعي الأساسي هل يدخل في طبيعة الاحتمالات أم أنه يوجد واقع متماسك ودقيق وكامن ؟ لا شك أن الفيزياء في القرن الواحد والعشرين هي التي سوف تقدم حلاً لهذه المشكلة . . .

القسم الأول

الرياضيات

إن الحياة العصرية مطبوعة بالرياضيات . فكل الأعمال وكل الأبنية التي قام بها الإنسان تحمل أثراً في الرياضيات ، فحتى أفراحنا الجمالية وحياتنا الأخلاقية تبدو متأثرة بها .

إن عدد العمال المهتمين باكتشاف الرياضيات وإغنائها ونشرها في تزايد مستمر . لقد مضى الوقت الذي كتب فيه شخص مثل كلود برنار Claude Bernard : « في العلم هناك عمالقة وأقزام ، ولكن يبدو أن الأقزام تصعد فوق اكتاف العمالقة فيرون أبعد منهم » . وبين الفريقين يقف الآن كل الذين لم يشقوا طرقاً جديدة ولكنهم يقدمون للعلم الرياضي قدرتهم في تمحيص المسائل في العمق وتوسيعها في المساحة . إنّ المنتوج السنوي قد أصبح ضخماً ؛ والنظريات تتكاثر وتتجزّأ وتتسع . والمفاهيم الفطرية حول العدد والوظيفة ، والرسمة ، تتغلّف بمزيد من التجريد . فضلاً عن ذلك وكلما تعاظمت كرة معارفنا ازداد عدد نقاط التماس مع المجهول ، وكل مسألة محلولة تولد مسائل جديدة .

والمؤتمرات الدولية تتراجع بصورة تدريجية مخلية المكان والدور للاجتماعات المتخصصة وللمؤتمرات ذات الصوت الواحد . لقد ولى عصر ليونار دي فنشي Léonard de Vinci وأمثاله وعصر هنري بوانكاريه Poincaré وأمثاله . ولم يعد أحد يستطيع ، بواسطة ثقافته العلمية العامة بلوغ معرفة معمقة إلا لبعض أقسام العلم . ولهذا بدا لنا من الضروري اسناد الكتابة عن تاريخ الرياضيات في القرن العشرين إلى مجموعة من المتخصصين كلفت بإبراز التيارات الكبرى في البحث وعلاقاتها ، وتفارقها وترابطها بالأعمال المجاورة .

وبالإمكان الاطلاع على ذلك بقراءة هذه المطالعات حول تطور الرياضيات الحديثة . لقد قادنا القرن التاسع عشر إلى توضيح المفاهيم الأساسية والتعاريف والبديهيات ، وإلى الفصل ، ضمن بيان إثباتي ، بين الفرضيات الأساسية اللازمة لصحة الاقتراح وبين الفرضيات الملحقة المقدمة تسهيلاً للتبيين .

لقد سبق أن وضع العدد والنقطة في أساس البناء الرياضي ، كما أن مختلف تجمعات هذ العدد كان موضوع تحليلات عميقة . ولكن دور البديهيات قد اتسع مما أدى إلى تشريح كامل للنظريات المختلفة في شتّى العلوم ، وإذا تم التثبت في البديهيات الأساسية التي هي عماد كل من هذه النظريات ، وإذا عرينا هياكلها ، توصلنا إلى الإعتراف بأن بعضاً منها وإن بدا بعيداً في الظاهر ، إلا أنه ليس إلا ظاهراً مختلفاً لنفس الهيكل ، مما يؤدي إلى استنتاجات متشابهة تطبق على عناصر متنوعة .

وقد أدت هذه البحوث إلى دراسة للبنيات قادت إلى مزيد من التجريد وإلى مزيد من الوحدة داخل الرياضيات ، وفي النهاية إلى فلسفة في الفكر .

إن الطوبولوجيا تلعب اليوم دوراً أساسياً في الجبر ، فنظرية وظائف المتغيرات الحقيقية تفتح تفتحاً باهراً حيث تبدو التوسيعات الجديدة لفكرة التكامل التي كان منشؤها في ملاحظة حول تطبيقية المساحات ، عظيمة الفائدة . وفكرة وحدة تولد وظائف المتغيرات المتعقدة قد انفصلت تماماً عن فكرة القابلية للتحليل ، وتفككت إلى عناصرها . أما الوظائف (الدالآت) فقد جمعت ضمن عائلات متقاربة جداً ووظائف العديد من المتغيرات درست درساً وافياً . وكذلك سحبت من الاهمال السلاسل المتفارقة . أما دراسة المعادلات التفاضلية فتحاول الحصول ـ انطلاقاً من الخلية الأساسية ـ على معرفة الكائن المولد منها بأكمله . أما فكرة الوظيفة وقد ردت إلى فكرة التطابق ، فقد أتاحت استبدال المتغير العددي بالخط وبالسطح وبالعنصر المجرد كما أتاحت دراسة التوظيفات والتحليل العام ، وهو أقصى ما يصل إليه علم البديهيات .

وتسيطر فكرة الزمرة (groupe) على الجبر وعلى الهندسة وتختلف باختلاف اختيار البديهيات والعناصر الأساسية . وفكرة الزمرة هذه أدت إلى جبرنة الطوبولوجيا وإلى توسيع علم التشابه وعلم التشابه الرديف وإلى ولادة الجبر التشابهي . وفي الجيومتريا ، بعد الجيومتريات غير الاقليدية والأرخميدية والهرميتية إلخ . جاءت نظرية النسبية ، والمتنوعات الخيطية والجيومتريا المتناهية والتحليل اللامتناهي الصغر المباشر وكذلك الجيرمتريا التفاضلية الشاملة .

واغتنت نظرية الاحتمالات بتحليلات أكثر عمقاً وارتدت فكرة الترابط أو العلاقة الاحتمالية أهمية وكذلك الريازات الاحصائية . وأدى منطق الاحتمال والتطور العشوائي والسيبرنية أو علم التوجيه والضبط إلى الوصول إلى طرق تحليلية جديدة .

في حين أن التجريد يسود سيادة مطلقة مجال نمو الرياضيات الحديثة ويترأس بنيانها ، فإن تطبيق هذا التجريد على الواقع لا يعترضه تناقض عميق وربما لا يتوجب أن نرى في هذا الواقع إلا نتيجة للمنشأ التجريبي للرياضيات وإلا نتيجة التكون البطيء للفكر البشري عند ملامسة الواقع .

الفصل الأول

الأعداد والمجموعات

I ـ نظرية الأعداد

تدرس نظرية الاعداد الاعداد الصحيحة وأنظمة ترقيمها والاعداد الأولى ؛ كما تدرس الاعداد الكسرية والاعداد غير ذات الجذر الجبرية أو المتسامية ثم الروابط التي توحد بينها وبين الاعداد الجذرية ، كما تدرس أخيراً مختلف الأجسام وكذلك المثاليات .

والترقيم على الأساس 2 ، الذي لا يستعمل إلا الرقمين صفراً وواحداً يعتبر أساسياً في بناء الآلات الحاسبة الإلكترونية المتزايدة الدور . وحسنة هذا الأساس أنه لا يدخل إلا خياراً واحداً بين رقمين في حين أن الترقيم المعتاد على أساس عشرة يقتضي الاختيار بين عشر إشارات . ويجري الآلة بصورة أوتوماتيكية القلب من أساس إلى أساس وفي النظام الثنائي تكفي دفعة وحيدة لإظهار العدد المفيد .

وترتكز نظرية الاعداد على نظرية الوظائف وفي آخر القرن التاسع عشر وجدت نظرية الاعداد في الهندسة أداة جديدة في العمل أدخلها هـ . مينكوسكي H. Minkowski في كتابه « نظرية الاعداد » (1896) . ويستعمل المؤلف شبكة مؤلفة من نقاط السطح تتألف إحداثياتها (Coordonnées) الديكارتية في اعداد صحيحة . ويلعب توزيع هذه النقط دوراً مهماً بشكل خاص في دراسة تقريب الاعداد غير الجذرية بواسطة أعداد جذرية .

وتقدم الكسور المتتابعة ، بواسطة مختزلاتها الكسور التي تقترب أكثر من غيرها في عدد غير جذري . ويتراجع الحد الأقصى في مقياس الفرق مثل مربع عكس مخرج الكسر مضروباً بعامل ثابت Facteur تتراوح أفضل قيمة له بين $\sqrt{5}$ حتى 3 بحسب فئة العدد غير الجذري وتجدر الإشارة في هذا المجال إلى أعمال (أكسل تو) Axel Thue (سيجل) Sigel (وديزون) Dyson وفي عهد قريب اهتم (ف . ك . روث) F. K. Roth بتقريب الاعداد الجبرية وبين أن هذا التقريب قليل السرعة .

ويتوافق العدد الذهبي $(1 + \sqrt{5})/2$ مع أكثر التقريب بطأً .

ويمكن القول أيضاً أن تقريب العدد غير الجذري بواسطة كسر يتم عن طريق البحث عن المضاعف الكامل الصحيح للعدد غير الجذري المجاور لعدد صحيح وهي مسألة مفيدة في نظرية الوظائف الدورية والسلاسل التريغونومترية . وقد بدت جيومترية الاعداد خصبة في هذا المجال الذي يمكن توسيعه كما أثبتت ذلك أعمال . ر . سالم R. Salem وش . بيزوه Ch. Pisot .

الاعداد الأولى : لما كانت تسلسلية الاعداد الأولى غير محدودة فقد اقترح درس تواترها . لنفترض $\pi(x)$ عدد الاعداد الأولى التي لا تتجاوز x . إنّ القاعدة التي استخلصها ليجندر هي أن هذا العدد يساوي تقريباً $x/\operatorname{Log} x$ ، أي أن خارج القسمة $\pi(x):(x/\operatorname{Log} x)$ ينزع نحو الوحدة عندما تزداد x إلى ما لا نهاية ، هذه العلاقة قد أثبتت في سنة 1896 بصورة مستقلة من قبل كل من ج . هدامارد J. Hadamard وش . دي لا فالي ـ بوسّان de la Vallée - Poussin وقدم تبيين آخر أقصر في سنة 1932 من قبل أ . لاندو E. Landau الذي أدخل عليه آ . ايريرا A.Errera في سنة 1955 تبسيطاً إضافياً . ومن جهة أخرى وضع أ . سلبرغ A. Selberg وب . أردوس P. Erdös في سنة 1948 تبيناً مباشراً لم تُستخدم فيه نظرية الوظائف . وقد اعتبر هذا التبين المباشر لمدة طويلة أمراً مستحيلاً .

« نطلق تسمية اعداد أولى توأمة على عددين أولين يختلفان بوحدتين مثل 3 ، 5 أو 11 ، 13 . فهل يوجد عدد غير محدود من مجموعات الاعداد الأولى التوأمة ؟ المسألة ما تزال بدون حل إنما من المعروف فقط أن نسبة عدد مجموعات التوائم الدنيا التي تقل عن x إلى العدد الاجمالي للأعداد الأولى الأقل من x ، تنزع نحو الصفر عندما يزداد x زيادة غير محددة . وقد بين (برون) Brun في سنة 1919 أن السلسلة المتكونة في حدود هي عكس الاعداد الأولى التوأمة ، هي سلسلة متلاقية . وتطرح مسائل مماثلة في ما خص التثليثات : $p, p+2, p+6$ مثل 5, 7, 11 أو الرباعيات $p, p+2, p+6, p+8$ مثل : 5, 7, 11, 13. ونستخدم في هذه الدراسة غرابيل مشابهة لغربال إيراتوستان Eratosthène .

وتحتوي كلّ من السلاسل المؤلفة من اعداد صحيحة ذات الشكل : $4n+1$ أو $4n+3$ أو $6n+5$ إلخ ، عدداً غير محدود من الأرقام الأولى . ويثبت ذلك بسهولة بفضل أسلوب التبين الذي وضعه اقليدس بشأن السلسلة n المؤلفة من الأرقام الصحيحة . وهذه المقترحات هي حالات خاصة تتعلق بقاعدة من وضع ديريكليه Dirichlet وتؤكد بأن كل تصاعدية حسابية ـ يكون أول عدد فيها ومعدل التصاعد أو معدل التغير هما عددان صحيحان أولان فيما بينهما ـ تتضمن عدداً غير محدود من الاعداد الأولى . في سنة 1950 قدم هـ . ن . شابيرو Shapiro تبيناً نموذجياً لهذه القاعدة . ومن جهة أخرى بين لينيك Linnik أنه في كل تصاعدية حسابية سابقة ذات نفس معدل التصاعد وحدّ أول يقل عنه ، يوجد عدد أول لا يتجاوز تضعيفاً لهذا المعدل يكون ضاربه بنفسه (exposant) ثابتة مطلقة .

وانطلق ج . س . ب . ميلر Miller ود . ج . ويلر Wheeler من العدد الاكبر الأول المعروف سنة 1951 وهو $p=2^{127}-1$ ، وذلك بواسطة آلة حاسبة الكترونية . وقد عثرا على أحد عشر عدداً آخر من صيغة $(2Kp+1)$ فتوصّلا إلى العدد الأول $(180p^2+1)$ المؤلّف من 79 رقماً .

ومنذ ذلك الحين أمكن القول ان العدد $(2^{4423}-1)$ هو أول : وهو أكبر عدد في الوقت الحاضر . والتصاعدية الحسابية هي دالة خطية مستقيمة مشتقة من المتغير الصحيح n . وقد جرت أيضاً دراسة دالات أخرى لـ n يمكن أن تعطي عدداً غير محدود من الأرقام الأولى وهكذا أدخلت الأرقام الأولى من الصيغة التي وصفها مرسين Mersenne ، $(2n-1)$ ، أو من صيغة فرمات $(2^{2^n}+1)$ ، وكذلك الأرقام المشتقة من مثلث الحدود من الدرجة الثانية ، أو مشتقة من شكل تربيعي ذي متغيرين صحيحين . وفي هذه الحالة الأخيرة تم الحصول على صيغة تشبه قاعدة ديريكليه : أي شكل تربيعي له ضاربات صحيحة أولى فيما بينها يتضمن عدداً غير محدود من الأرقام الأولى . وقد أتاحت هذه المسائل المجال لأعمال د . هـ . لهمر Lehmer (1935) ولأعمال آ . فيريه Ferrier (1951) ولأعمال ف . سيربنسكي Sierpinski (1951) ولأعمال م . رايت Wright (1951) .

وتم الحصول على قيم تماسية بالنسبة إلى السلاسل أو الحواصل غير المتناهية المرتبطة بالأرقام الأولى ، مثلاً سلسلة معاكساتها ، وسلسلة حواصل قسمة اللوغاريتم على العدد . وتعزى هذه الأعمال بشكل خاص إلى ب . روسير B. Rosser (1941) وهاردي Hardy وي . هـ . رايت Wright (1945) . وتم البحث عن تعابير من نمط (x) بصورة أكثر طواعية في الحساب . وإحدى هذه السلاسل يعود الفضل فيها إلى ف . سيربنسكي (1953) ؛ وهناك أعمال أخرى يعود الفضل فيها إلى آ . برووير A. Brauer (1946) :

▪ ان المسافة التي تفصل بين عددين أولين متتاليين كانت موضوع بحوث مثمرة . فهناك عدد أول بين x و 9/8 x عندما يكون $(x \geqslant 48)$ (ر . بروش R. Breusch 1931) ؛ وبين x^3 و$(x+1)^3$ عندما يكون x كبيراً إلى حد ما (أ . انغهام A. E. Ingham 1932) . ولا نعرف إذا كان الأمر كذلك بالنسبة إلى x^2 و$(x+1)^2$. والمسافة المعتبرة تتغير بين 2 وعدد كبير قدر ما نشاء وتتأرجح باستمرار بين هذين العددين ، فالحد الأدنى ربما لا يدرك دائماً . وليس طول هذه المسافة دالة رتيبة (1934 ، ايشيكاوا H. Ishikawa ، وبراشاز Prachaz ؛ وتوران Turan ، واردوس Erdös) و(1951 ، ريتشي G. Ricci) . .

وتمّ ادخال مفهوم العدد شبه الأول : أنه عدد مركب فيه يكون لمجموع المثقلات (Exposants) فوق الأعداد الأولى التي تؤلفه حد أعلى محدود . فإذا كان هذا الحد (1) فالعدد يكون أوّل . وهكذا نحصل ، باستعمال غربال ، على القواعد التالية :

1 ـ يوجد عدد لا متناه من المزدوجات المتكونة من عدد أول ومن عدد شبه أول الفرق بينهما هو (2) .

2 ـ كل عدد مزدوج كبير نوعاً ما هو مجموع عدد أول وعدد شبه أول (Rengi) .

في سنة 1742 ، وفي رسالة إلى أولر ، أعلن غولدباخ Goldbach الحكم بأن كل عدد مزدوج هو مجموع عددين أولين . وهذا الحكم يعادل الحكم التالي : كل عدد أول يفوق الـ (5) هو مجموع ثلاثة أعداد أولى . إن القاعدة المستقاة من غولدباخ لم يكن بالامكان اقرارها . وفي سنة 1922 ، بيَّن هاردي وليتلوود Littlewood ، بافتراضهما فرضية غير مقررة ، إن كل عدد مفرد كبير

نوعاً ما هو مجموع ثلاثة أعداد أولى . وفي سنة 1937 بيّن فينوغرادوف تماماً هذا الحكم وتبعه لينيك وتشوداكوف . وهناك أعمال أخرى في هذا السبيل تعود إلى بيبنغ Pipping وإلى أسترمان Estermann وفان كوربوت Van der Corput . وقد أمكن تبيان أن كل عدد صحيح يحصل بفعل جمع أعداد أولى عددها محدود . وباستعمال قاعدة فينوغرادوف ، تقرر أن الحد يمكن أن يؤخذ مساوياً لأربعة عندما يكون العدد الصحيح كبيراً نوعاً ما (شنيرلمان Schnirelmann ، 1930 ؛ ريتشي Ricci 1936 ، ريشرت Richert ، 1941 ؛ شابيرو Shapiro وفارغا Varga ، 1951) .

المعادلات الديوفانتية ـ من أجل التوصل إلى أعداد صحيحة كحلّ معادلة ذات متغيرين حاصلة من جراء تصفير (جعله صفراً) متعدد حدود ذي معاملات جذرية ، بيَّن ثيو A. Thue أنه ، إذا كان متعدد الحدود متّسقاً ، ومعه زيادة حد ثابت جذري ، فإن المعادلة تقبل عدداً متناهياً من الحلول إلا في حالة يكون فيها هذا المتعدّد الحدود « قوة » (Puissance) لمثلث حدود من الدرجة الثانية يمكن رده إلى مزدوج حدود من الدرجة الأولى .

وبالارتكاز إلى بحوث ويل A. Weil حول الحساب (الارتمتيك) المتعلق بالمنحنيات الجبرية ، توصل سيجل C.L. Siegel إلى حل مسألة تحديد الحالات التي تقبل فيها المعادلة الجبرية ذات المتغيرين ، عدداً غير محدود من الحلول الصحيحة . وقد درست حالة المعادلة ذات المتغيرات فوق الاثنين من قبل سكولم Skolem وشابوتي Chabauty .

في سنة 1910 استطاع هيلبرت Hilbert أن يحل المسألة التي طرحها وورنغ Waring منذ 150 سنة من قبل : بالنسبة إلى كل عدد صحيح $k \geqslant 2$ يوجد عدد S (k) بحيث أن كل عدد صحيح يبدو كمجموع على الأكثر S (k) قوّة ذات الدرجة k لأعداد صحيحة . وقد استطاع هاردي وليتلوود أن يحسنا كثيراً النتيجة التي توصل إليها هيلبرت بواسطة طريقة أصيلة جداً في (النظرية التحليلية للأعداد) . وهذه النظرية ترتكز على دراسة معمقة لفرائد سلسلة معيّنة وضعها تايلور حول حلقة التلاقي . هذه الطريقة ، التي طورها خاصة فينوغرادوف ، هي التي أتاحت الحصول على النتائج المشار إليها أعلاه حول مسألة غولدباخ ، وعلى تخمين تقريبي لعدد تجزئات العدد الصحيح .

الأعداد الجبرية أو التجاوزية ـ إن دراسة الأعداد الجبرية ـ التي أحدها عدد حقيقي فوق الواحد ، شريكاته مزودة بمقاييس تقل عن واحد ، والتي قام بها ش . بيزوه Ch. Pisot وتابعها سالم R. Salem وسيجل G. Siegel وآخرون ـ أدت إلى معايير للأعداد الجبرية تعمم قاعدة لاغرانج المتعلقة بالأعداد الجبرية من الدرجة الثانية .

وقد طوّر بيزوه Ch. Pisot وشابوتي C. Chabauty أسلوب التقريب التناوبي لعددين حقيقيين . في سنة 1934 ، قدم غلفوند A. O. Guelfond طريقة سهلة لبناء الأعداد التجاوزية مبيناً اقتراحاً مهماً تعود صياغته إلى أولر Euler ويشكل المسألة السابعة من المسائل التي طرحها هيلبرت سنة 1900 ؛ باعتبار α عدداً جبرياً مختلفاً عن 0 وعن 1 وأن β هي عدد جبري غير جذري ، فإنّ α^{β} متسام (مثلاً : $3^{\sqrt{2}}$) .

وقدم بيزوه Pisot سنة 1938 معياراً للعـدد التجاوزي : السلسلة التريغونومترية التي حدها العـام هو $\mathrm{Sin}^2(\pi \propto x^n)$ (sin تـرمز إلى الجيب) ، بـاعتباران ∝ يـرمز إلى عـدد متمام ، وتفتـرق ، بالنسبة لكلّ قيمة حقيقية x أكبر من 1 .

II ـ المجموعات

لم تتوقف الحركة التي نشأت في أواخر القرن التاسع عشر بفضل نظريات كانتور Cantor عن التطور بخلال القرن العشرين في مختلف المجالات الرياضية . .إنّ فكرة الجوهـر الفرد القـديمة ، التي دمرها ادخـال اللاجـلريات ، قـد أخلت المكان أمـام المستمر المتتـابع . وبـدوره أخذ هـذا المستمر مكانه بين المجموعات التي أتاحت فكرة القوة Puissance تصنيفها .

إن العدد الرئيسي الذي نشأ من تعداد المجموعات المتناهية ، قد وُسِّعَ ليشمل المجمـوعات غير المتناهية وأدّى إلى التعداد المتجاوز النهاية Transfinie وإلى الحث الاستقراء المتجاوز النهاية .

أما العدد الترتيبي ، من ذات المنشأ ، فقد أدّى إلى مفاهيم المجمـوعة المـرتّبة والمجمـوعة لمرتبة جداً وإلى بديهية زيرميلو Zermelo (1904) التي بموجبها يمكن ـ في كل مجموعة فرعية من مجموعة معينة ـ تحديد عنصر مميز . هذه البديهية واستعمال أرقام فـوق التناهي أديـا إلى نتائـج غريبة أحياناً وإلى متناقضات فرقت الريـاضيين إلى فريقين احـدهما يقبـل ببديهيـة زيرميلو في حين يرفضها الآخر بسبب الشك الذي يتضمنه تعيين العنصر المميز الموافق لكل مجموعة ، وقد أتاحت بـديهية زيـرميلو العديـد من المجالات . فقـد هاجمهـا بوانكـاريه ، ورفضهـا بوريـل Borel وليبيغ Lebesgue ولوزين Lusin وآخرون ، وقبلت من جانب هيلبرت ، وهادامارد وسيربنسكي Sierpinski وآخرين . في مطلع القرن العشرين كان العلماء الرياضيون مقسـومين إلى مجمـوعتين ؛ المثاليـون الذين ارتضوا بديهية زيرميلو ، والتجريبيون الذين رفضوها . ونقرأ باهتمام « الرسائل الخمس حول نـظرية المجمـوعات (Ensembles) » والتي تبـادلها كـل من بيـر Baire وبـوريـل Borel وهـادامـارد Hadamard وليبيغ Lebesgue .

لقد قام علمان يتطوران كـلاً على حدة . وقـد نتج عن ذلـك تحليل أخـاذ للأسس المنـطقية للتعـاريف وللتحاليـل العقلية (E. Borel, Les paradoxes de l'infini, Paris 1946) . وتمت متـابعـة البحوث الأولى التي قام بها زيرميلو من قبل كثيرين منهم فـرانكل Frankel وبـرنايـز Bernays وفون نيومان Von Neumann وأخيـراً كورت غـودل (The Consistency of the Continuum hypothesis, Princeton. 1940) . وقد وضعوا لنظرية المجموعات بديهيات مـا تزال معتمـدة حتى أيامنـا . فضلاً عن ذلك ، وكما أنه تم في القرن التاسع عشر اثبات أن الجيومتريا اللااقليدية غير متناقضة إذا كانت الجيومتريا الاقليدية غير متناقضة بذاتها ، فقد أثبت غودل Gödel أنه إذا كانت نظرية المجموعات ، المرتكزة على نـظامها من البـديهيات (حيث لا مكـان لبديهيـة الاختيار) ، ليست متنـاقضة ، فـإن النظرية الحاصلة بإضافة بديهية الاختيار وفرضية المستمر إلى هذه البديهيات لا تكون متنـاقضة هي أيضاً . هذا لا يثبت بالطبع فرضية المستمر ، وقد تكون هذه غير قابلة للاثبـات ، أي أنه إذا أضيف إلى نظام البديهيات عند غودل انكار فرضية المستمر ، نصل أيضاً إلى نظريـة غير متنـاقضة (دائمـاً

تحت الفرضية القائلة بأن النظرية تحت هذه البديهية ، ليست متناقضة بذاتها) .

وقد أغنت الأعمال الحديثة ، الموجهة نحو تجريد متزايد ، نظرية المجموعات بإدخال الطوبولوجيا ، وجبر بول Boole وتحليل مور Moore العام (أنظر بهذا الشأن الفصل التالي) .

قياس المجموعات ـ إنّ قياس مجموعات النقاط في فضاءات ذات بُعد أو أبعاد عدة قد مرّ بثلاث مراحل متتالية . في بادىء الأمر ، وفي أواخر القرن التاسع عشر ، أدخل C. Jordan أول نمط للقياس مستقل عن هيكلية المجموعة التي يجب قياسها . ونتج عن ذلك ، بشكل خاص ، عدم إمكانية قياس مجموعة النقاط ذات الإحداثية السينية الجذرية من المقطع (0,1) ، ولا مجمل النقاط ذات الإحداثية السينية غير الجذرية من هذا المقطع .

هذا النقص بالنسبة إلى مجموعات بمثل هذا الاستعمال جرَّ أميل بورل (1871 - 1956) إلى إدخال تعريف آخر للقياس يحمل اسم بورل . وهو يتميز بالخصائص التالية : إن قياس المقطع (Segment) (1,0) يساوي واحداً ؛ وقياس عدد نهائي أو غير نهائي من المسافات دون نقاط مشتركة هو مجموع أطوالها ؛ وقياس مجموعة يمكن تحصيل بنائها عن طريق الغاء المسافات ، هو أمر حاصل أيضاً ؛ وقياس اجتماع عدد نهائي أو قابل للعد من المجموعات القابلة للقياس ، والتي ليس لها نقاط مشتركة هو مجموع قياساتها (E. Borel, Leçons sur la théorie des fonctions, Paris 1895) .

وقدّم ليبيغ Henri Lebesgue (1875 - 1941) تعريفاً للقياس سُمِّيَ تعريف L ، وله نفس الخصائص الأساسية ، إلا أنه مستقل عن أسلوب بناء المجموعات ، وله فائدة كبرى نظرية ومنطقية . ومن الناحية العلمية ، للقياسين B وL نفس الصلاحية .

وننتقل بسهولة من تعاريف قياس مجموعات النقاط فوق المقطع (0,1) إلى قياس مجموعات النقاط الواقعة في فضاء ذي عدد من الأبعاد وحتى إلى قياس مجموعات النقاط في فضاء طوبولوجي أو إلى قياس مجموعة مجردة . أن القياس L المشار إليه أعلاه يتميز بأنه لا يتغير بالانتقال . إلا أنه ـ وكما سبق وبين ذلك سيتلجس Stieltjes (1894) ، يمكن أن نعرف على المستقيم قياسات أخرى كثيرة لا تتمتع بهذه الخصوصية ، إلا أنها كثيرة الفائدة في العديد من المسائل ، وتتيح تعريف مفهوم للمتكامل بأسلوب منقول عن الأسلوب الذي استعمله ليبيغ لتعريف المتكامل انطلاقاً من القياس L (واجع الفصل الثالث من هذا القسم) .

مجموعات القياس L المعدومة ـ إن هذه المجموعات هي أولاً المجموعات القابلة للعد . ويميز بورل من بينها المجموعات القابلة فعلاً للعد : إنها هي المجموعات التي يمكن اجراء تصنيف لعناصرها التي تجعلها تتوافق من طرف واحد مع مجموعة الأعداد الصحيحة الطبيعية .

وتأتي بعدها المجموعات ذات القياس المعدوم وذات القوة ، قوة المستمر . نكتفي فقط بمجموعات النقاط الواقعة على المقطع (1,0) وذات القياس العدم . إن مجموعة هذه المجموعات لها قوة أعلى من قوة المستمر .

وإن نحن اكتفينا بالمجموعات المسماة مجموعات B ، فإن مجموعتها لها قوة المستمر . إنّ مثل هذه المجموعة تُعرف بأنّها متكونة من النقاط الداخلية في عدد لا متناه من المسافات . ومجموع أطوالها يتيح تصنيفها . وهكذا نصل إلى مفهوم الندرة الذي أدخله ودرسه اميل بورل (1949) .

إن مجموعات القياس العدم مرتبطة بالتعبير « تقريباً في كل مكان » المستعمل في نظرية الدالّات . ويقال أن الميزة تتأكد في كل مكان تقريباً عندما تكون مجموعة النقاط المحددة بقيم المتغيرات والتي لم تثبت الخاصة بالنسبة لها ذات قياس عدم .

المجموعات التحليلية ـ نحن مدينون لنيكولا لوزين N. Lusin (1883 - 1950) ولتلميذه سوسلن Michel Souslin (1894 - 1918) بنظرية المجموعات التحليلية (1916) التي هي نقطة انطلاق الأعمال الحديثة حول نظرية المجموعات . وهذه النظرية ترتبط بمذكرة هـ . ليبيغ حول الوظائف القابلة للتمثيل تحليلياً (1905) . إنّ المجموعة التحليلية ذات بعد الواحد ، هي مجموعة القيم التي تتخذها دالّة مستمرة لمتغير تقع قيمته بين الصفر (0) وواحد . إن مثل هذه الدالّة يمكن تمثيلها بسلسلة من متعددات الحدود (Polynômes) . وتحدد هذه السلاسل كل مجموعات الدالّات التحليلية التي لمجموعتها قوة المستمر .

وأدخل لوزين (Lusin) أيضاً طريقة الغرابيل المستعملة من قبل ليبيغ في حالة خاصة . نفترض وجود مجموعة مسطحة E مسندة إلى محورين Ox, Oy . ان مجموعة السينيات x — للمتوازيات مع Oy ، والتي يشكل مقطع E بالنسبة إليها مجموعة غير منتظمة تماماً ، تشكّل المجموعة المغربلة بالغربال E .

إن الأعمال المتعلقة بالمجموعات التحليلية هي بشكل خاص من صنع الرياضيين من المدرستين البولونية والروسية وخاصة سيربنسكي Sierpinski وكوراتوسكي Kuratowski ونيكوديم Nykodym ومازور كيفتيز Mazurkiewiez والكسندروف Alexandrov ولافرنتييف Lavrentiev وأوريسوهن Urysohn وكولموغوروفKolmogorov وهوريفيتش Hurewicz وكثيرين غيرهم .

وتتصل هذه الأعمال بطبقات الوظائف عند بير René Baire وبحوث بوسّان Ch. de la Vallée - Poussin . وقد أدّت إلى دراسة المجموعات الاسقاطية والمجموعات الكونية التي قال بها لوزين N. Lusin ؛ والمجموعات المتناثرة التي قال بها دنجوي A. Denjoy تساهم فيها أيضاً .

كتب أميل بورل يقول : « إن المجالات والمجموعات تشكل بالنسبة إلى الوظائف (الدالّات) ما تمثله الأنسجة بالنسبة إلى الكائنات الحية . وقد اضطررنا إلى درسها بذاتها ، بمعزل عن الوظائف التي أوحت بدراستها » .

وقد خصصت مجموعة مهمة ـ Fundamenta Mathematicae ، وُضعت في بولونيا من قبل سيربنسكي W. Sierpinski ـ لهذه البحوث .

الفصل الثاني

الجبر والطوبولوجيا

يعيش العالم الرياضي الحديث في وسط علمي دائم التغير . وهناك تطور انطلق منذ قرن ، ولم ينفك يتسارع منذ خمسين سنة ، فيخضع المجالات الرياضية لخلط ومزج يتزايد اتساعه سنة فسنة ، وقد أزال العديد من الحدود التقليدية ، إلى درجة أنه أصبح من الصعب جداً إعطاء اسم للكتلة المتحركة من النظريات المتفاعلة فيما بينها باستمرار ، هذه الكتلة التي تشكل ما يمكن تسميته « النار المركزية » في الرياضيات المعاصرة وهي : الطوبولوجيا الجبرية ، والجيومتريا التفاضلية ، ونظرية الوظائف (الدالاّت) التحليلية لعدة متغيرات معقدة ، وزمر لي Lie والجيومتريا الجبرية ، وكلها تختلط فيها بشكل لا يمكن فصله ، وليس بمعزل عن تقديمات التحليل الوظيفي ، ودون الكلام عن المبادلات مع نظرية الأعداد الجبرية . وهذا الحفل ذو المئة صورة يقوده المجالان العلميان المفتاحان في الرياضيات الحديثة وهما : الجبر والطوبولوجيا [الطوبولوجيا فرع من الرياضيات مؤسس على دراسة التحويرات المستمرة في الجيومتريا وعلى العلاقات بين نظرية السطوح والتحليل الرياضي] .

واصل هذا التطور يبحث عنه في تغير وجهة النظر التي حصلت بخلال النصف الثاني من القرن 19 : فبدلاً من المفهوم الأفلاطوني للرياضيات « أَمْثَلَة العالم الحسي » حلت حالة استقلال تام تجاه « المحدد » ، تطلب إمكانية تنمية مفاهيم تجريدية خالصة ، محكومة بأنظمة من المسلمات شبه التحكمية تقريباً ، ودونما تطابق ضروري مع الواقع التجريبي . وفجأة تبين أن الوسائل التي بدت مرتبطة ببعض أنماط الأشياء المنبثقة عن حدسنا الحسي (الأعداد ، الرسوم الجيومترية ، الخ) لها حقل تطبيق « تجريدي » أكثر اتساعاً ، وهي تتجاوز بدون جهد الحواجز التي يفرضها الاستعمال التقليدي لها [للوسائل] على الإنتفاع منها . أن كل قفزة من هذه القفزات إلى الأمام تقترن ، لا محالة ، بصعود جديد في التجريد ، وبإدخال مفاهيم رياضية جديدة ، معها تتعاطى بدون مشقة الأجيال الجديدة في حين يلهث السابقون من أجل متابعتها ؛ وأنه لمن سخريات القدر ، بالنسبة إلى هذا التاريخ ، أن نرى بطل التجريد ، ومدمر المفاهيم البالية ، عند بلوغه الخمسين ، يتهيب من إقدام زملائه الشبان ويصرح بلهجة قاطعة أن المفاهيم الرياضية

الجديدة لا يمكنها أن تؤدي إلى أي شيء جديد .

أنه لمن المبكر جداً أن نحاول استخلاص رؤية إجمالية من هذا الغليان العمائي . وليس بمقدورنا أفضل من أن نتبع بعضاً من هذه الاتجاهات التي تتصادم في مختلط الرياضيات الحديثة ، ثم نركز على بعض من هذه الأفكار ـ القوى .

اتجاهات الجبر الجديد ـ قلَّما يشترك الجبر الحديث ، إلا باسم ، مع ما ظلَّ لقرون يشكل الجبر بحق : أي نظرية المعادلات . فهو أي الجبر الحديث قد انبثق ، ليس فقط من هذا الجبر الكلاسيكي ، ومن احتياجات نظرية الأعداد ، بل انبثق أيضاً من مختلف « الحسابات » ومن التحليل ومن الجيومتريا ، التي شكلت أسسها ـ المتجردة من الأفكار الملازمة لهذه العلوم ـ ما يسمى اليوم « البنيات الجبرية » ؛ ودراستها هي أساس الجبر الحديث . من حيث المبدأ ، يمكن تعريف مثل هذه البنية بنظام من المسلمات الخاضعة لعدد قليل جداً من الحدود . ولكن تاريخ السنوات الثلاثين الأخيرة ، التي ظهرت فيها أنظمة متعددة من هذا النوع يدل ، ظاهراً ، أن الأنظمة الوحيدة القابلة للتطور الخصب هي الأنظمة التي تظهر ، إذا جاز القول ، « بناء للطلب » ، وذلك سداً لاحتياجات يحددها قسم آخر من الرياضيات . والجبر ـ دون غيره من فروع الرياضيات الأخرى ـ لا يسمح له بأن يكون مجانياً خشية عليه من العقم .

أ ـ وإن نحن استعرضنا بسرعة هذه « البنيات » المتنوعة للجبر ، فيجب إعطاء مركز الشرف لفكرة « الزمرة » ، وهي بدون شك الفكرة الأشمل في الرياضيات المعاصرة . لقد انبثقت فكرة « الزمرة » من نظرية المعادلات (لاغرانج ، غوس وغالوا) . وفكرة الزمرة « المتناهية » (وخاصة فكرة مجموعة المتبادلات) كانت الموضوع الرئيسي لنظرية الزمر في القرن التاسع عشر ، خاصة مع جوردان Jordan وسيلو Sylow ؛ وبالتدرج فقط تبين الدور العظيم الذي تلعبه الزمر في كل النظريات الرياضية ؛ وكما سنرى ، أنه بفضل التواصل مع هذه التطبيقات الجديدة نشأت التطورات الأكثر تقدماً في النظرية العامة للزمر ، وحتّى في نظرية النهائية .

ب ـ ومفاهيم الحقل (Corps) والحلقة (Anneau) جاءت أيضاً من الجبر الكلاسيكي ، ومن الجيومتريا الجبرية ومن نظرية الأعداد (هيلبرت Hilbert وكرونكر Kronecker وديدكيند Dedekind) ؛ ولكن إلى جانب الحقول « المحددة » في الأعداد أو في الوظائف ظهرت أيضاً ، في هذه المجالات ، حقول أخرى ذات سماتٍ أكثر غرابة ، أمثال الحقول المتناهية (وبوجه أعم الحقول ذات السمة « p>0 ») والحقول البادبكية (P - adiques) (أنظر لاحقاً) في حين أنه من الأعمال حول أسس الجيومتريا تولدت الحقول ذات السلاسل الشكلية (Veronese) . وكل هذه الحالات الخاصة قد شملها توليف Synthèse شتانيتز Steinitz (1910) ، هذا التوليف الذي يعتبر بداية الجبر الحديث . وبفضل نوذر E. Noether وكرول W. Krull ، تطورت النظرية العامة المتعلقة بالحلقات التبادلية ، بعد ذلك بقليل ، متجهة منذ البداية (وأكثر فأكثر) نحو الجيومتريا الجبرية ، لكي تميل إلى الإندماج فيها .

ج ـ وارتبطت فكرة الفضاء الحلقي (Module) بفكرة الحلقة ، وكان لهما نفس المنشأ (ومقولاتها المثالية هي حالات خصوصية) . إلا أن نظريتهما قد تمحورت لمدة طويلة حول حالة خاصة من حالات الفضاءات التوجيهية (وبقول آخر حول الفضاءات فوق حقل) التي تتأتى ، بخط مستقيم ، من الجيومتريا الأولية وتنتهي فضلاً عن ذلك في التحليل الوظيفي .

وفي وقت قريب جداً فقط ، وبواسطة الجبر التماثلي (Homologique) اكتسبت نظرية المكونات الجزئية حول الحلقات الأكثر عمومية نمواً مماثلاً . ولكن سبق ، مع الفضاءات الموجهة (Vectoriel) وحدها ، أن توصل « الجبر الخطي » وملحقاته(الجبر الموتّري Tensoriel ، والجبر الخارجي) إلى لعب دور متعاظم في كل الرياضيات الحديثة التي تبرز فيها الصفة الخطية .

إنّ نظرية الحقول ونظرية Galois بشكل خاص ، قد استفادتا من هذه الخطية . ومن نجاحاتها الأخرى في الجبر كانت نظرية الجبرات غير التبديلية non Commutatives والتي تعود إلى أعداد هاميلتن فوق العقدية ، ولكنها لم تدرس بشكل عام إلا ابتداءً من نهاية القرن التاسع عشر . وخاصة بتطبيق نتائج هذه الدراسة على جبر زمرة متناهية فوق حقل ما K ، نتوصل (في الحالة التي يكون فيها K هو حقل الأعداد المعقدة) إلى القواعد الأساسية حول التمثيلات الخطية وحول « سمات » هذه الزمر . أن هذه السمات أدخلها سنة 1886 فبر Weber في الزمر التبديلية (Commutatifs) ، ولكن تعريفها ، بالنسبة إلى الزمر المتناهية المطلقة لم يقدم إلا في سنة 1896 من قبل فروبنيوس Frobenius ، وتقدم هذه النظرية أداة جديدة وقوية لدراسة الزمر المتناهية ؛ وفي عهد قريب ، وعند دراسة التمثيلات في جسم ذي سمة مميزة $p>0$ استطاع براور R. Brauer وتلامذته تمديد هذه البحوث بشكل ملحوظ (من أجل تعميم هذه المعلومات على المجموعات الطوبولوجية) .

وفي الجبر الخطي أيضاً (مع ثنائية الجيومتريا الإسقاطية ، في بداية القرن 19) تولدت الفكرة العظيمة فكرة الثنوية (dualité) أو الازدواجية التي سوف نعالجها فيما بعد بأشكال متنوعة جداً .

جبرنة الطوبولوجيا ـ في أي مكان آخر غير الطوبولوجيا لم تكن فتوحات الجبر ، وخاصة نظرية المجموعات،أكثر مشهودية . لن نتكلم هنا عن الطوبولوجيا الموصوفة « بالعمومية » ، والتي تطورت على أثر أعمال فريشيه Fréchet وهوسدورف Hausdorf ، في الحقبة 1920 – 1940 ، والتي كان دورها أن تضع مصطلحاً « جيومترياً » مبسطاً ومرناً ما أمكن من أجل التعبير عن نتائج وعن مشاكل التحليل الوظيفي ، والجيومتريا التفاضلية ، والقسم من الطوبولوجيا المسمى « توافيقياً » في بداية القرن . في هذه الطوبولوجيا الأخيرة ، عملت تقنية التثليث و« المعقدات » (Complexes) التي ابتدعها بوانكاريه (1895) لتقويم النظرية التي استشفّها ريمان Riemann ، على إشراك الفضاء X بثوابت طوبولوجية (« اعداد Betti » ، « اعداد الفتل de torsion » ، و « اعداد التقاطع ») كانت دائمة أعداداً صحيحة ، ولم يتدخل الجبر إلا من خلال تصور « مصفوفات الانعكاس » ومن خلال فكرة « الزمرة الأساسية » $\pi_1(X)$ في طبقات الأربطة . وأنه في سنة 1925 فقط ، وبتأثير من نوذر

Noether ، عرف أنّ هناك مكسباً من اعتبار « سلاسل » المعقد وكأنها تشكل زمرة تبديلية ، واعتبار عمليــة « الـطرف » ∂_n كتشــاكـل (homomorphisme) $[f(x + y) = f(x).(f(y)]$ من زمــرة n من السلاسل في زمرة (n − 1) من السلاسل . وأعطت الزمرة حـاصل النـواة ∂_n على صورة $(\partial_n + 1)$ تعطي بفضل ثوابتها المعتادة ، « اعداد بتي (Betti) » و « اعداد البرم » ومن هنا اسمها « الزمرة (n^e) التقارنية » ؛ أما « أعداد التقاطع » فيمكن أن تستعمل لتحديد الضرب بين طبقات التماثل (حول نوعية X) . فضلاً عن ذلك ، بدلاً من دمج المجموعات المبسّطة (Simplexes) في مجاميع ذات معاملات صحيحة ، لا شيء يمنع من إدخال المعاملات ضمن دائرةٍ ما ، من هنا تصور زمر التماثل ذات المعـاملات الحـرة الكيفية ؛ وهـذا أتاح التعبيـر بشكل كـامل عن قـاعدة « الثنـويـة dualité » (الكسندر ـ بونترياغين Alexander – Pontriaguine) بين تماثل فضاء جزئي وبين تتمته ، وقاد فيما بين 1930 و 1940 إلى تعـريف مجموعـات التمـاثـل المـزدوج cohomologie ، رابـطاً بين السـابقـة والثنوية الاستعمالية للجبر الخطي (الكسندر Alexander وليفشتز Lefschetz) . فضلاً عن ذلك ، يمكن دائماً تحديد تعدديـة طبقات التمـاثل المـزدوج (دون تضييق على الفضاء X) ؛ فضـلاً عن ذلك أيضاً ، يوجد في هذه الحلقة من التماثل المـزدوج عمليات جبـرية أخـرى (مثقلات ستينـرود Steenrod ، وعمليات تماثلية ثانوية) تشكل بنية جبرية في غاية التعقيد ما تزال بعيدة كل البعد عن الحل الكامل . ومن جهة أخرى أخيراً ، أدخل هوريفيتش Hurewicz حوالي سنة 1933 زمر التماثل العليا $\pi_n(X)$ ، وهو تعميم طبيعي للزمـرة الأساسيـة ، وهنا أيضـاً يوجـد بين هذه الـزمر العـديد من العلاقات ذات الطبيعة الجبرية الطوبولوجية ، التي ما تزال غير مفهومة تماماً .

وهنـا تقع إحـدى « الصدمـات الارتجـاعيـة » الأكثـر بـروزاً في تـاريـخ الـريـاضيـات . في سنة 1942 ، اكتشف هوف Hopf علاقة غير متوقعة بين الزمـرة الأساسيـة $\pi_1(X)$ والزمـرة الثانيـة من التماثل $H_2(X)$. وبعد ذلك بسنتين ، وأثناء تعميق هذه العلاقة اكتشـف هوف Hopf نفسه وإكمـان Eckmann وماكلين Mac Lane ـ ايلنبرغ Eilenberg كل على حدة إمكانية تطوير ـ بالنسبة إلى زمـرة مجردة عاملة ضمن مجمـوعة تبـديلية ـ نظـرية فـي « التمـاثل المـزدوج » تشبه شكـلاً ومن جميع النواحي نظرية تماثل المجموعـات المعقدة (Complexes) . وبعـد ذلك بقليـل ، لاحظ هونشـيلد Hochschild أن نفس الفكـرة تنـطبق أيضـاً على الجبـرات التجميعيـة ، وقـام ايلنبـرغ Eilenberg وشـوفالي Chevalley بتـوسيعها حتى تشمـل جبرات لي Lie . وقـد تم التوصـل فعلاً إلى بـدايـات « الجبـر التماثلي » ، وهـو آخر مولد من أقسـام الجبر ، التي لـم تتـوقف مسيرتهـا الظافـرة بين كل الرياضيات ؛ وبعد صيـاغته بشكـل منهجي بفضل المسـاهمات الأسـاسية التي قـام بها كـارتان H. Cartan وايلنبرغ Eilenberg ، أصبح يشمل الآن ، وبشكل متماسك ، سلسلة كـاملة من الأساليب الجبرية التي تتيح معالجة المسائل التي تدخل فيها علاقات « التبعيـة » الخطيـة بين عناصـر الفضاء الحلقي (module) ، والتي ينبثق معظمها عن الطوبولوجيا الجبرية : مفـاهيم الحل (Hopf) ، تتمـة صحيحة من التماثل المزدوج (كارتان H. Cartan ، هوف Hopf ، لفشتز Lefschetz ، هـوريفيـتش Hurewicz) ثم أهم وأقـوى نظريـة بين كل النـظريات ولا شـك وهي تطويـة التتمات الـطيفية التي وضعهـا Leray (انظر لاحقـاً) . أن هذه الأفكـار قد أتـاحت إدخال العـديد من النتـائـج المنفـردة الجبرية ضمن إطـار عام (من ذلـك مثلا « قـاعدة الهلة والبـدر » التي وضعها هيلبـرت Hilbert في

نظرية الثوابت) ، وسوف تتاح لنا الفرصة في ما يلي لكي نشير إلى بعض مسائل الجبر والحساب ، التي قدّم لها الحل ، ولكن أولى أهم تطبيقات الجبر التماثلي كانت في مجال الطوبولوجيا الجبرية التي ولدت هذا الجبر . ومن بين النجاحات المتعددة التي تعزى إلى هذا الجبر التماثلي ، نذكر قواعد التناهي التي قال بها سير Serre حول زمر الهوموتوبية (Homotopie) بين الكرات ، ونذكر نتائج أدامز Adams الحديثة التي حلت المسائل القديمة حول وجود حقول الأسهم الموجهة Vecteurs فوق الكرات ، وتحديدالكرات الذي يقتضي تكاثراً مستمراً كما هو الحال في التطبيقات (y→ y x و y→ x y) بحيث تكون هذه التطبيقات هوموتوبية عند التماهي بالنسبة إلى كل x .

ومن الجدير بالذكر أنه كلما غصنا في الطوبولوجيا الجبرية الحديثة ، كلما ابتعدنا عن الحدس الجيومتري الأول لدى مؤسسيه . وقد أمكن القول أن بحثاً حديثاً حول الطوبولوجيا الجبرية يتضمن 95% جبرا و5% طوبولوجيا ! وحتى الفكرة التي كانت تبدو مرتبطة بشكل لا يقبل الانفصام بفكرة الاستمرارية مثل فكرة « التحريف » (أو « الهوموتوبيا ») أمكن حديثاً صوغها بعبارات جبرية خالصة (كان Kan) ، إلا أن كل تقدم في هذه الجبرنة يؤدي حتماً تقريباً إلى تقدم في فهمنا للنظرية ويقوي وسائل الهجوم المتاحة .

ويجدر أخيراً أن نشير إلى أن الجبر التماثلي سائر في طريق تجاوز ذاته بذاته ، ان تكوينه ، عند كارتان ـ ايلنبرغ ، يتعلق أساساً بالعلاقات بين الفضاءات الحلقية modules وتشاكلات Homomorphisme هذه الفضاءات . ولكن استبان أننا في الواقع لم نكن نستخدم من هذه المفاهيم إلاّ عدداً صغيراً من خصائصها الشكلية (مثلاً الواقعة بأن التشاكل له صورة وله نواة) وأنّ هذه الصفات بالذات تتواجد في ظروف لا تكون فيها الأشياء المقصودة بالضرورة فضاءات حلقية ، ومن هنا التصور الجديد الذي يقوم ـ بحسب تفاعلية لا تتغير ـ على اتخاذ هذه الخصائص كمسلمات . هنا نجد النظرية الحديثة جداً حول « الطوائف الأبيلية » (Catégories abéliennes) والدالّ Foncteur بين هذه الطوائف : صعود جديد في التجريد ، قدم ، كما هي العادة ، رؤى أكثر بساطة ، ومناهج عمومية ، ليس فقط في الجبر التماثلي « الكلاسيكي » ، بل ـ وهذا هو الأكثر أهمية ـ في نظرية الأشعة وتطبيقاتها .

طوبولوجيا جبرية ـ جيومتريا تفاضلية وجيومتريا جبرية ـ ظهرت أولى مسائل الطوبولوجيا أمام ريمان Riemann ، بمناسبة حقبات « المتكاملات الأبيلية » ، ومن أجل دراسة التنوعات التحليلية طوّر بوانكاريه تقنياته الدمجية ، ناظراً بشكل خاص إلى تناول المتكاملات بواسطة الأشكال التفاضلية ؛ وأظهرت نظرية هذه الأشكال ، بالنسبة إلى التنوعات الجبرية من البعد 2 (بيكار والجيومتريون الطليان) أو من أيّ بعد آخر (Lefschetz) ، العديد من الثوابت (النوع الجيومتري ، والنوع الحسابي ، الخ) المتصلة ظاهراً بمسائل ذات طبيعة طوبولوجية . ولكن ، تحت تأثير كارتان E. Cartan تحددت الروابط بين نظرية التنوعات القابلة للتفاضل وبين الطوبولوجيا الجبرية . في سنة 1929 ، مثل كارتان Cartan أفكار بوانكاريه ، فأعلن بشكل واضح ما يجب أن تكون القواعد التي تربط ، فوق تنوع قابل للتفاضل ، الأشكال التفاضلية المغلقة ، واعداد بتي Betti ، والقواعد المبينة بذات الوقت تقريباً من قبل رام Rham ، وهي القواعد التي

شكلت فيما بعد إحدى نقاط انطلاق مفهوم التماثل المزدوج (Cohomologie) . في سنة 1940 ، استكملت قواعد رام Rham بنظرية هودج Hodge الذي عمم على الأشكال التفاضلية ، فوق فضاء ريمان Riemann المكثف ، مناهج ريمان المؤسسة على مبدأ ديريكليه Dirichlet (نظرية الأشكال الهرمونية = المتجانسة) الذي سوف يفتح الطريق إلى النظرية الحديثة حول المتنوعات التحليلية المسماة « كاهليرية » (Kählériennes) .

أن الجيومتريا التفاضلية الكلاسيكية هي أيضاً في أصل النظرية الحديثة حول الفضاءات الخيوطية : أن اعتبار تنوع عناصر التماس في سطح ما يعود ، في المصطلح الحديث ، إلى اعتبار الفضاء الخيوطي وكأنّ أساسه « السطح » وخيوطه السطوح المماسة ؛ أما « طريقة التريدر (Trièdre المضلع ذو الثلاثة سطوح) المتحرك » المنسوبة إلى داربو Darboux فمؤداها قَرْنُ هذا الفضاء الخيوطي (حيث يعمل في كل نقطة منه المجموع المتقاطع عمودياً) بالفضاء الخيوطي الرئيسي المطابق له (أي له نفس الأساس ، وكخيط في كل نقطة فضاء التريدرات المثلثة المستطيلات في هذه النقطة) . لقد عمم كارتان E. Cartan كثيراً هذه المفاهيم في نظريته حول « الترابطات » حيث يمكن استبدال المجموعة التعامدية بزمرة ما من زمر لي Lie ؛ ولكن التعريف الدقيق لمفهوم الفضاء الخيوطي لم يستنبط إلا في سنة 1935 من قبل ويتني H. Whitney . وبعد ذلك بقليل بيّن ويتني Whitney وهوريفيتش Hurewicz وايهرسمان Ehresmann وهوف Hopf ومدرسته أن هذه الفضاءات تلعب دوراً ضخماً ، ليس فقط في مسائل الجيومتريا التفاضلية المنظورة من قبل كارتان E. Cartan ، بل في دراسة زمر Lie وما فيها من فضاءات متجانسة ، وكذلك في كل مسائل الطوبولوجيا حول المنوعات القابلة للتفاضل (مثل المسائل ، التي تعود في عهدها إلى بوانكاريه Poincaré وبراور Brouwer، حول وجود الحقول المستمرة بالنسبة إلى الموجهات Vecteurs أو الموجهات المتشعبة Multi – vecteurs المماسة لنوعية معينة) ؛ فضلاً عن ذلك ، وكما لاحظ ويل A. Weil حوالي سنة 1950 ، أن المفهوم الكلاسيكي للقاسم على تشكيلة تحليلية أو جبرية مرتبط تماماً وبشدة بنمط خاص من الفضاء الخيوطي . ودراسة هذا المفهوم الجديد ، المشدود بقوة من كل الجهات ، انطلاقاً من سنة 1940 كانت غنية بالنتائج المتعددة ؛ نذكر أولاً إدخال الثوابت الجديدة « الشاملة » ذات الطبيعة الطوبولوجية والمرتبطة ببنية قابلة للتفاضل فوق تشكيلية (طبقات ستيفل ـ ويتني Stiefel – Whitney ، وطبقات بونترياغين Pontriaguine ، وطبقات Chern فوق تشكيلة تحليلية معقدة) يتيح حسابها حلّ العديد من المسائل الكلاسيكية التي كانت الثوابت الطوبولوجية السابقة عاجزة عن توضيحها . فضلاً عن ذلك إنّ مسألة تصنيف الفضاءات بخيط وبقاعدة معينين تؤدي إلى علاقات ملحوظة مع الطوبولوجيا بفضل إدخال « الفضاءات الطبقية » . وقادت هذه المسألة لوراي J. Leray أيضاً إلى خلق تنمية التتمات الطيفية ، والمفهوم الأساسي للحزمة ، الأكثر مرونة والأكثر قوة أيضاً من مفهوم الفضاء الخيوطي .

وقد أتاحت هذه المفاهيم الجديدة والتقنيات تقدمات ملحوظة ، في العديد من التوجهات ؛ وذلك بفضل تطبيق طريقة التتمات الطيفية الخيوطية المناسبة (الأكثر عمومية ، في الواقع ، من

الفضاءات الخيوطية التي قال بها ويتني Whitney أو ايهرسمان Ehresmann) حصل سير Serre على نتائجه حول زمر هوموتوبية الأكر [موضوع = topie مشابهة = Homo] ، وقد تم إثبات نتائج أكثر كمالاً فيما بعد بطرق مختلفة إنما مرتكزة أيضاً على مفهوم الفضاء الخيطي (H. Cartan). ومن جهة أخرى اكتشف سير Serre وكارتان H. Cartan ، في سنة 1952-1953 أن نظرية الحزمات تشكل الأداة المثالية لإعطاء الصيغ « الشمولية » لطروحات نظرية الوظائف التحليلية لعدة متغيرات معقدة (وهي نظرية طورت منذ بوانكاريه وكوزون خاصة من قبل كارتيودوري Carathéodory وبهنك Behnke ومدرسته ، ومن قبل هـ . كارتان وأوكا Oka) . إنّ هذه الفكرة التي استعيدت ، ومن بين اللذين استعادوها Kodaira وسبنسر Spencer (بالربط مع نظرية الأشكال الهرمونية) ثم هيرزبروك Hirzebruch وغراورت Grauert وريميرت Remmert ، قد أدت بسرعة ، في هذه السنوات الأخيرة ، إلى نتائج جديدة ومتناهية الروعة ، حول المنوعات التحليلية المعقدة وحول المنوعات الجبرية . ولن نذكر من هذه النتائج إلا اثنتين من الأكثر بروزاً : قاعدة كوديرا Koduira وتميز المنوعات الجبرية من بين المنوعات التحليلية المعقدة والكثيفة ، بشرط ذي طبيعة طوبولوجية (واقعة كونها « منوعة هودج ») ؛ ثم الصياغة العامة لقاعدة ريمان ـ روك Reimann-Roch المتعلقة بالمنوعات الجبرية المعقدة ذات البعد المطلق ، المنسوبة إلى هيرزبروك Hirzebruch ؛ هذه القاعدة تعبر بصيغة جبرية مربكة (حيث تتداخل مع غيرها اعداد برنولي Bernoulli) عن « مميزة بوانكاريه ـ أولر Euler – Poincaré » لفضاء خيوطي بقاعدة منوعة جبرية (وخيوطه فضاءات اتجاهية) كما هي محددة بنظرية التشابه المتبادل بين الحزمات ، بمساعدة طبقات شرن Chern في هذا الفضاء الخيوطي (طبقات ، في حالات خاصة ، كان عثر عليها بشكل آخر في سنة 1937-1938 من قبل تود Todd وايجر Eger) . وقد أتاحت هذه الصيغة والنتائج الملحقة تبيين فرضيات مشهورة وضعها سيفري Severi حول النوع الحسابي للمنوعات الجبرية .

وقبل ترك هذا العرض لمجال غني هو مجال تفاعلات الجيومتريا التفاضلية ، ونظرية الوظائف التحليلية والطوبولوجية الجبرية ، نذكر إحدى النظريات الأكثر حداثة وأصالة هي دراسة جبر الكوبوردیسم Cobordisme ، دراسة حددها وميزها توم Thom : إن عناصره هي طبقات المنوعات القابلة للتفاضل والموجّهة ، وتكون المنوعتان v و w موجودتين في نفس الطبقة إذا وجد منوعة موجهة حدّها هو اتحاد غير متصل بين v وw . وبفضل النتائج العميقة حول الهوموتوبيا ، وبفضل بناء ملحق رديف وملهم أتاح استخدام هذه النتائج ، لم يستطع توم Thom فقط وضع بنية زمر الكوبورديسم (ذات المعاملات الجذرية) بل استطاع أيضاً ربطها بطبقات بونترياغين Pontriaguine ؛ واستعمل أول تبيين لصيغة هيرزبروك Hirzebruch هذه النتائج بشكل أساسي . فضلاً عن ذلك ، وبفضل الكوبورديسم ، بيّن Milnor ، سنة 1958 ، النتيجة المدهشة وهي أن الكرة S_n (لبعض قيم n) قد تقبل عدة بنيات قابلة للتفاضل وإن لم تكن متماثلة في الشكل . وقد سبق أن بيّن ميلنور Milnor وتوم Thom أن هذه الطبقات ذات البنيات تنتظم ضمن زمرة (ا) تمت دراستها من قبل سمايل Smale . ومن جهة أخرى حصل كرفير Kervaire على مثل عن منوّعة بالمعنى الطوبولوجي (فضاء مكثف كل نقطة فيه لها جوار مفتوح متشاكل طوبولوجياً مع المجموعة

R^n) لا توجد عليها أية بنية قابلة للتفاضل .

نذكر أخيراً تجديداً حديثاً للطوبولوجيا « المزجية » التي بفضلها ـ وباستخدام البحوث الأساسية التي قام بها وايتهيد J.H. Whitehead والمدموجة بأفكار جديدة ـ تمّ تقريباً ، حلّ مسألتين قديمتين : أن فرضية بوانكاريه ، وبموجبها تتميز الكرة S_n طوبولوجيا بين المنوعات ذات الحجم n ، بخاصية تملك مجموعة أساسية ، وإن كل مجموعاتها التشابهية هي « عدم » باستثناء المجموعة رقم n ، قد أثبتت إلا في حالتي : n = 3 وn= 4 (سمايل Smale وستالينغز Stallings) . وبالعكس ، إنّ افتراض هاوتفرموتونغ Hauptvermutung ، لإمكانية الحصول ، في حالة وجود فرعين قابلين للتبسيط ـ في نفس المعقّد ـ على فرعين أكثر دقة ومتشابهي الشكل (من ناحية القابلية للدمج) ، بدا غير صحيح (مازور Mazur وميلنور Milnor) .

الجبر الطوبولوجي ـ إن العلاقات بين الجبر والطوبولوجيا [مكان ، موقع = Topo ولوجيا = علم] ، والتي سنتكلم الآن عنها هي ذات طبيعة مختلفة تماماً عن السابقة . إن استمرارية العمليات الجبرية هي أحد « قوانين » التحليل الأكثر استعمالاً ، لدرجة عدم التفكير بها في أكثر الأحيان . وبعد تطور نظرية الزمر ، في القرن التاسع عشر ، وجدت نفس الخاصية في أساس نظرية Lie الكبرى ، ولكن قلّما جرى التفكير بإجراء دراسة مسلماتية لهذه العلاقة بين الجبر والمفهوم الطوبولوجي للاستمرارية . وازدهار التحليل الوظيفي الحديث ، وخاصة إدخال ـ بين 1900 و 1910 ـ « فضاء هيلبرت Hilbert » و « الفضاءات L^p » ، هما اللذان سوف يظهران جدوى مثل هذه الدراسات (التي أدى انعدامها إلى عقم مدرسة فوليترا Volterra) . وأدى هذان الأمران ، مع رايز F. Riesz ، وهان Hahn وباناخ Banach وغيرهم ، بين سنة 1920 و 1930 ، إلى تأسيس نظرية الفضاءات الموجهة الطوبولوجية ، والتي تعالج بصورة أساسية ، المظهر الطوبولوجي للمسائل الخطّية والمتعددة الخطوط . وبشكل خاص أن دراسة المفهوم الذي يعمم ، في الفضاءات الموجهة الطوبولوجية ، مسألة الشكل الرباعي ، قادت هيلبرت Hilbert إلى وضع أسس النظرية الطيفية للعوامل الهرميتية (نسبة إلى هيرميت) التي أصبحت ذات أهمية أساسية في العديد من مجالات التحليل (المعادلات التفاضلية ، والمعادلات ذات الاشتقاقات الجزئية ، المعادلات المتكاملة) وكذلك في مجال الميكانيك الكمي . تجب الإشارة إلى أن إحدى أفكاره الموجهة كانت « الثنائية » ؛ وبنوع من العودة إلى الوراء ، إن هذه الثنائية الطوبولوجية قد ساعدت على توضيح الأفكار حول الثنائية الجبرية الكلاسيكية ، المثقلة بالكثير من الظاهرات الخاصة .

إن الدراسات حول الزمر العامة تشعر من جهة أخرى ، بالحاجة إلى الخروج من الاطار الضيق ، إطار نظرية زمر لي Lie . وصاغ شراير O. Schreier ، سنة 1927 ، وبشكل عام مسلمات الزمر المسماة « طوبولوجية » ، حيث تخضع العمليات للتواصل . وفي السنوات العشرين التي تلت ، تقدّم فرع هذه النظرية المخصصة للزمر المكثفة محلياً (الأقرب إلى زمر لي Lie والأكثر تواجداً في التطبيقات) بخطىً جبارة : في سنة 1933 بيّن هار Haar على هذه الزمر وجود مقياس ثابت (معروف منذ زمن بعيد بالنسبة إلى زمر Lie) ؛ وهو اكتشاف قد أتاح تقريباً في الحال

لبونترياغين Pontriaguine أن يبني ، بالنسبة إلى الزمر التبديلية محلياً والمكثفة ، نظرية الصفات المقتبسة من نظرية فيبر فيما خص الزمر المتناهية ، ولكن التي أظهرت هنا من جديد « ثنائية » ملحوظة (مرئية قليلاً في الحالة الكلاسيكية ، وشديدة الخصوصية ، مرة أخرى أيضاً) . وبعد ذلك بقليل ادخل ويل A. Weil في هذا الاطار كل النظرية الكلاسيكية حول سلاسل فورييه Fourier ، وتحول فورييه ، الذي برز مظهره من خلال هذا التحليل « الهارموني (التوافقي) الجديد » .

أما بالنسبة إلى الزمر الكثيفة (المتصلة أم لا) ، أتاح قياس هار Haar أيضاً توسيعاً (توسيعاً سبق اجراؤه من قبل شور I. Schur وويل H. Weyl بالنسبة إلى زمر لي Lie حوالي 1925) لنظرية الصفات والتمثيلات الخطية للمجموعات المتناهية ؛ واستخرج منها فون نيومان Von Neumann وبونترياغين Pontriaguine ، من بين آخرين ، حلاً ، فيما خص الزمر المكثفة ، « للمسألة الخامسة » ، الشهيرة عند هيلبرت Hilbert ، يميّز زمر لي بخصائص طوبولوجية حيث لا يفترض « مسبقاً » وجود البنية القابلة للتفاضل .

وبالنسبة إلى الزمر المكثفة محلياً والعامة ، تأخر حل المسألة الخامسة وانتشار نظرية التمثيلات الخطية ، مدة أطول . وأنه في سنة 1951 فقط ، توصل غليسون Gleason ، باستعمال ماهر لنظرية هيلبرت حول الفضاء ، إلى اجتياز الخطوة الحاسمة نحو حل المسألة الخامسة ، حلاً تحقق لاحقاً وبسرعة على يد زيبين Zippin ومونتغومري Montgomery ، ثم بسطت إلى حد بعيد ، بعد ذلك بمدة سنة ، من قبل ياماب Yamabe . أما نظرية التمثيلات الخطية ، فلم تحقق تقدماً ملحوظاً ، إلا بعد أن تم تحديد المماثل الطوبولوجي « لجبرات الزمر » وإلا بعد التآلف مع معالجتها ؛ وبقول آخر ، توجب أن يتعمّم على الحالة « الطوبولوجية » ، ليس فقط مفهوم الزمرة ، بل أيضاً مفهوم الحلقة .

في هذا الاتجاه ، حصلت أولاً الدراسة المعمقة لنمط خاص جد مهم ، هي حلقات العوامل في فضاء Hilbert ، دراسة طورها فون نيومان Von Neumann (بالتعاون مع موراي Murray) في سلسلة من المذكرات المهمة بين 1935 و 1940 . ثم في سنة 1941 ، طور غلفاند I. Guelfand ومدرسته النظرية العامة حول الجبرات المقننة ، وهي إحدى أجمل التطبيقات لنظرية فضاءات باناخ Banach ، والتي أتاحت في الحال تبسيط وتوحيد تبيينات التحليل الهرمونيكي ، وهكذا ارتبطت ثنائية بونترياغين Pontriaguine بثنائية فضاءات باناخ Banach . ومن جهة أخرى ، فتح هذا التصييغ الجديد الطريق أمام نظرية التمثيلات الخطية للزمر المكثفة محلياً والعامة ، والتي تم تطويرها على أساس نموذج الحالة الاتصالية . ولكن على الرغم من التقدمات الملحوظة المحققة في هذه السنوات الأخيرة ، خاصة فيما يتعلق بالتمثيلات الخطية لزمر لي Lie (ماوتنر Mautner وماكي Machey وسيغال Segal وغودمنت Godement وغلفاند ونيومارك Neumark ، وهاريش ـ شاندرا Harish - Shandra وبروهات Bruhat وديكسميه Dixmier) ظلت مسائل كثيرة مفتوحة ، لأن النظرية أكثر تعقيداً مما هي في الحالة التبديلية ، وتقتضي وسائل أقوى بكثير (مثل جبرات فون

نيومان von Neumann ومثل نظرية التوزيعات) وكذلك اعتبارات لنظرية وظائف المتغيرات المعقدة والجيومترية الجبرية .

اللغة الطوبولوجية في الجبر ـ في الأمثلة المشار إليها أعلاه ، كانت البنية الطوبولوجية قسماً متمماً للمعطيات في المسائل المعالجة . ولكن ، منذ بداية القرن ، تطورت نظريات أخرى لم تعد فيها الطوبولوجيا إلا « لغة » تتيح التعبير ، بأشكال أيسر ، عن بعض الحالات الجبرية .

وبقول آخر ، في هذه التطبيقات ، من الممكن تماماً التعبير عن كل شيء دون استعمال أية كلمة طوبلوجية ، ولكن ، في التطبيق لا تقدم اللغة الجيومترية تبسيطاً ضخماً في الصياغات وحتى في التبيينات ، بل تقترن أيضاً ، عند الرياضيين الذين يستعملونها دائماً ، بنوع من الحدس تبين أنه دليل كثير الفعالية .

والمثل الأول والنموذج الأساس لاستعمال هذه اللغة الطوبولوجية هي النظرية الشهيرة ، نظرية الاعداد البادية (p - adiques) التي وضعها هنسل Hensel في حوالي 1900 . وهي تعطي شكلاً جديداً لنظرية « التطابقات العليا » التي وضعها ديدكيند Dedekind (انظمة التطابقات بحسب المثقلات المتزايدة الكبرى لعدد (أو مثالي) أول) : وتقوم فكرة هنسل Hensel على تزويد مجمل الاعداد الجذرية (أو بشكل أعم ، تزويد جسم من الاعداد الجبرية) « بمسافة » من صنف جديد، فيه تتوجه مثقلات (Puissances) العدد (أو المثالي) الأول نازعة نحو الصفر عندما يكون المثقل (exposant) متزايداً بلا حدود ؛ وتتحدد الاعداد البادية Padiques انطلاقاً من هذه المسافة ، عن طريق ذات النهج « الاستكمالي » الذي قدَّم الاعداد الحقيقية انطلاقاً من الاعداد الجذرية ، بالنسبة إلى المسافة الاعتيادية . هذه الفكرة الثورية ، في زمنها ، لم تتطور ولم تتعمم إلا ابتداءً من سنة 1918 ، أولاً على يد أستروسكي Ostrowski ، ثم من قبل هاس Hasse ، تلميذ هنسل Hensel ، الذي شيَّع استعمالها ، والذي بفضله انتشر المفهوم الذي بموجبة تلعب الاعداد الأولى ، في الحساب ، دور النقاط في تشكيلة جبرية ، وتلعب « التطويرات P - adiques » دور تطويرات « بويزو Puiseux » في جوار نقطة ما . من هنا المبدأ المزدوج القائم ـ في كل مسألة تمس نظرية الاعداد ـ على اعتبار هذه النظرية من الناحية « المحلية » أولاً ، في كل « موضوع » (وهو اسم آخر بالنسبة إلى المُثُل الأولى ، التي يجب أن يضاف إليها « المواضع » أو « الأمكنة اللامحدودة » المتوافقة مع الاستكمال ، في المسافة الاعتيادية ، أي مع الإغراق الكلاسيكي للجذريات بالحقيقيات ، ثم ، بالنسبة إلى كتل « حقول » الإعداد الجبرية ذات الإغراقات المختلفة الممكنة « لحقل» ما في حقل الاعداد المعقدة) ؛ وبالتالي ، بعد حل المسألة « المحلية » ، عندها يجب الصعود « من المحلي إلى الاجمالي » .

وسوف تجد هذه المبادىء ، في السنوات 1920-1935 ، مجال تطبيق رحب في نظرية حقل الطبقات ونتائجها بالنسبة إلى نظرية الجبرات على حقول الاعداد والنظرية الحسابية المتعلقة بالأشكال المربعة (المؤديات الحديثة للأعمال الرائعة حول نظرية الاعداد ، في القرن التاسع عشر ، والتي يعود الفضل فيها بشكل خاص إلى مدرسة غوس Gauss) . وبعد ذلك بقليل ، اتخذ

« الانتقال من المحلي إلى الاجمالي » منحىً جيومترياً جديداً ، وذلك بفضل ما ادخله شوفالي Chevalley من مفهوم « الايدل » «l'idèle» وقوامه اغراق جسم الاعداد المدروسة في الحصيلة (الطوبولوجية) ، حصيلة متمّماته في مختلف « المواضع » ، مما أتاح صياغة قواعد أساسية لنظرية الاعداد الجبرية في عدد قليل من الصيغ الملفتة ، المستعارة من معجمية نظرية الزمر الكثيفة محلياً . ومن زمن غير بعيد ، ارتؤي أن استعمال قياس هار Haar في هذه الزمر يحول إلى صيغ متناهية البساطة القواعد الكبرى التي وضعها مينكوسكي ـ سيجل حول الاشكال الرباعية (تاماغاوا Tamagawa) . ونذكر أيضاً ادخال الجبر التماثلي في نظرية حقل الطبقات ، مع ويل A. Weil وناكاياما ـ هوتشيلد Nakayama - Hochschild وخاصة تاتي Tate ، الذي وضع ، بفضل تغيير عبقري في نظرية التماثل المتبادل (الكومولوجيا Cohomologie) في الزمر المنتهية ، ضوءاً جديداً على الطرق السابقة وفتح الطريق أمام تقدم جديد .

وإذا كانت الهندسة الجبرية الكلاسيكية قد الهمت ، مع هنسل Hensel ، لغة جديدة للحساب ، فإن هذا الأخير قد أعطى ، بالمقابل ، للهندسة الجبرية عوناً فعالاً للخروج من اطاره التقليدي . إنّ القضايا الديوفانتيه حفزت إلى اعتبار النقاط الجذرية حول متنوعات محددة ومعرّفة بمعادلات ذات معاملات جذرية ، أي إلى التخلي ، فيما خص هذه المتنوعات ، عن كل ما يخرج من حقل هذه الاعداد الجذرية ، وبالتالي التحرر من المبدأ الذي يجعل من الجيومتريا الجبرية فرعاً من التحليل ، مستقلاً تماماً عن نظرية وظائف المتغيرات المعقدة . وأكثر من ذلك ، في القضايا الديوفانتية ، إذا أردنا أن «نموقع» (بالمعنى الحسابي المار ذكره أعلاه) كان لا بد من النظر إلى المعادلات وحلولها « مقاس p » (p أول) ، أي الانتقال في الواقع إلى حقل متناهٍ ، وبعد منهجة شتاينتز Steinitz ، أصبح من الواضح أن هذا يرد إلى الرغبة في توسيع مجال الجيومتريا الجبرية ، على أساس اتخاذ « حقل أساسي » ليس حقل الاعداد المعقدة في الجيومترية الجبرية الكلاسيكية ، بل مطلق حقل اتصالي . إلا أن هذا كان يقتضي ، بصورة أوتوماتيكية الاقلاع عن كل استعمال للطرق « التجاوزية = المتسامية » ، التي خدمت تماماً بيكارد Picard وليفشتز والجيومتريين الايطاليين ؛ بل وبدا من الصعب الاحتفاظ بالاتصال مع الحدس الجيومتري في هذه الجيمترية المجردة الجديدة . وبالفعل ان المحاولات الأولى في هذا الاتجاه ، على أثر نوذر E. Noether وفان در واردن Van der Waerden ، استبدلت التحليلات الجيومترية المعتادة باعتبارات معادلة في الجبر الخالص ، حول الحلقات ، والمُثل والفضاءات الحلقية التي كانت ذات دقة خالصة ؛ إلا أنها بدت أقل بعداً من الأساليب الكلاسيكية ، وبدت كأنها توقع الجيومترية الجبرية الجديدة في مسار شاق وبطيء . وفي المجال المحلي ، أتاحت طريقة هنسل ـ استروسكي ، الخروج بسرعة من هذا الواقع ، وذلك بفضل الأعمال الأساسية التي قام بها كرول Krull حول المفهوم العام ، مفهوم « التقييم » وبشكل أعم « الحلقة المحلية » : فالتطورات ذات السلسلة الشكلية ، احتلت فيها ، بدون صعوبة ، مكان السلاسل المتلاقية في التحليل الكلاسيكي . ويبقى إذاً العودة أيضاً إلى الحدس الجيومتري « الشامل » ، مع تقديم وسيلة تربط فيما بين « الأمكنة » التي يفصل بينها الجبر المحلي . وبخلال العقد 1945-1955 ، أتاحت طريقة أولى ـ

تعزى إلى ويل A. Weil ـ مؤسسة على تشغيل « النقاط النوعية العامة » (المعرَّفة بشكل جبري خالص) و « تخصيصاتها » ، ليس فقط ، وضع ـ وبشكل كامل ـ ما ينقص المحاولات السابقة (وحتى ، والحق يقال ، ما ينقص الجيومتريا الجبرية الكلاسيكية) ، أي وضع نظريةٍ دقيقة ومرنة لتعدديات التقاطع ، الذي بفضله أمكن ـ حول نوعية جبرية مجردة ـ معالجة « الحلقات » الجبرية بشكل مأخوذ تماماً عن حساب « السلاسل » في الطوبولوجيا الجبرية ، بل إنها أيضاً ، عند واضعها وتلاميذه ، يجب أن تؤدي إلى نجاحات باهرة في الجيومترية « التجريدية » . والأبرز كان التبيينُ ـ بالنسبة إلى المنحنيات الجبرية المحددة فوق حقل متناهٍ ـ تبيين مماثل « فرضية ريمان Riemann » الكلاسيكية ؛ وكما بيَّن ذلك ويل سنة 1948 كان لهذه القاعدة نتائج مهمة في النظرية التحليلية للاعداد ، فقدمت أفضل زيادة ممكنة لمجاميع الأسات : $\sum_{x=1}^{p-1} \exp(2\pi i f(x)/p)$ (باعتبار p عدداً أوّل و f متعدّد حدود ذا معاملات صحيحة) لم يكن بالامكان ، من قبل ، الحصول منها إلا على تقديرات غير دقيقة .

وعلى كلٍ لم تقم تقنيات Weil إلا جزئياً التحريك الجيومتري للنقاط والنوعيات المنقوصة . ويتم حالياً التوجه نحو طريقة أخرى ، تجد منشأها في أعمال زاريسكي Zariski وتقوم على الاكتفاء من النوعية الجبرية « المجردة » بطوبولوجيا أقلّ دقّة من الطوبولوجيا المتاحة في النظرية الكلاسيكية : مثلاً ، فوق منحنىً جبري ، نأخذ منه كمجملات مغلقة المجملات المتناهية ، وإذن فالطوبولوجيا لا تحقق مسلمة هاوسدورف Hausdorff إذا كان حقل الأساس لا متناهياً . إلا أن هذه الطوبولوجيا تمتاز بأنها ممكنة التحديد بشكل جبري خالص ، وقد يحدث أنّها ـ حتى في الحالة الكلاسيكية ـ تقدم عملياً نفس الخدمات التي تقدمها الطوبولوجيا المعتادة في الجيومتريا الجبرية . وقد كسبت هذه الأفكار ، بشكل خاص ، وزناً منذ أن لاحظ سير Serre في سنة 1955 أن فكرة « الحزمة » ، المفيدة جداً في نظرية المنوعات التحليلية المعقدة ، تطبق كذلك أيضاً على الجيومتريا الجبرية المجردة ، بعد تجهيز نوعية « طوبولوجيا زاريسكي Zariski » : وهي طريقة بينت ، بخلال عدة سنوات ، خصوبتها الملحوظة بين يدي واضعها ويدي غروتنديك Grothendieck ، الذي أشمل (بل وعمم بشكل ضخم) إلى الحالة « التجريدية » صيغة ريمان ـ روك ـ هرزبروك Riemann - Roch - Hirzebruch . ضمن هذه التوسيعات ، يلعب الجبر التماثلي بالطبع دوراً بارزاً كما في النظرية الحديثة حول المنوعات التحليلية المعقدة ، وفي الواقع تتفاعل طرق ومفاهيم هاتين النظريتين ، باستمرار ، فيما بينها : ويستطيع الجبر التماثلي أيضاً ، كما لاحظ ذلك سير Serre ، أن يلعب دوراً مفيداً جداً في الجبر المحلي . ويعتبر هذا الأخير (الذي طوِّر بشكل ملحوظ بعد كرول ،على يد شوفالي وزاريسكي وكوهن I. Cohen ، وسمويل Samuel ، وناغاتا Nagata) احدى الأدوات الأساسية في الجيومتريا الجبرية منظورة من الجهة التي أشرنا إليها .

نذكر أخيراً أنه ، تحت اسم « الحد الاسقاطي » ، تلعب الطريقة التي ابتكرها هنسل ، دوراً مهماً في الكثير من المجالات الأخرى ، وخاصة في الطوبولوجيا الجبرية (من أجل تعريف « تماثلية تشيك Čech ») وفي نظرية الزمر المكثفة محلياً والعامة . فضلاً عن ذلك ، تتضمن هذه

العملية عملية « ثنائية » : عملية « الحد المستقرأ » التي قلما تُدخل الطوبولوجيا ، إلا أنها تستعمل بشكل شائع في كل الجبر ، كما أنها أساسية في نظرية الحزمات .

الملتقى : زمر لي **Lie** ـ لقد أشرنا عدة مرات إلى نظرية Lie . الواقع ، أن هذه النظرية قد أضبحت في عصرنا أحد « مراكز التوزيع » في الرياضيات ، حيث تختلط وتتفاعل التأثيرات الأكثر تنوعاً .

من المعلوم أن لي قد ابتكر نظريته « حول الزمر المستمرة » لكي يجيب على مسائل متنوعة حول أسس الجيومتريا وتكامل المعادلات التفاضلية وعلى المشتقات الجزئية . في تلك الحقبة ، لم يكن التمييز بين « المحلي » و « الاجمالي » بمثل وضوحه في أيامنا ، ورغم أن أغلبية الزمر الخاصة التي نظر فيها Lie ومدرسته ، قد عُرِّفت اجمالياً ، فإنه ، من وجهة نظر محلية خالصة ، درس عموماً « زمره المستمرة » . ان الاكتشاف الاساسي عند لي Lie هو إنّ البنية المحلية لمثل تلك الزمرة تنعكس بأمانة في بنيته « اللامتناهية الصغر » : إنّ المعرفة حتّى المرتبة الثانية اللامتناهية الصغر بالوظائف (الدوال) التي تعطي قانون الزمرة ، تكفي لإعادة تكوينها كاملة (بشكل سلاسل كاملة لا تتلاقى بالضرورة أينما كان) . إنّ هذه البنية « اللامتناهية الصغر » تعبر عن نفسها بالشكل الجبري الخالص في نظرية « جبرات لي Lie » ، وبناء هذه النظرية كان الهدف الأول عند Lie وتلامذته . وبفضل الأعمال الأساسية التي قام بها كيلينغ Killing وكارتان E. Cartan ، تحقق هذا الهدف الأول بشكل أساسي منذ نهاية القرن التاسع عشر ، وخاصة مع الاكتشاف ومع التصنيف الكامل لجبرات Lie « النصف بسيطة » ، حول حقل الاعداد المركّبة (بالنسبة إلى جبرات لي Lie النصف بسيطة الحقيقية ، وقد توصل E. Cartan إلى نفس النتيجة سنة 1914) .

إن المجموعات التي نظر فيها في البداية لي Lie قدمت كمجموعات من التحولات تتناول فضاءات أو اجزاءً من فضاءات متنوعة ؛ ومن جلائل أعماله أنه استخرج من هذا المظهر النظرية الذاتية ، حيث درست الزمرة بمعزل عن « تحقيقاتها » الممكنة كزمرة تحولات . ولكن هذه التحولات ، وخاصة التمثيلات « الخطية » ظلت تحتفظ بأهمية بالغة ، خاصة في مجال التطبيقات . ومن وجهة النظر « المتناهية الصغر » ، طوّر E. Cartan هذا المظهر من النظرية ، واعطاها حلاً كاملاً فيما خصّ التمثيلات الخطية (من البعد المتناهي) المتعلقة بالجبرات نصف البسيطة (وقد سبق أن أشرنا إلى الدراسة الأحدث حول التمثيلات الخطية لمجموعات Lie في الفضاءات (الوظيفية) ذات البعد اللامتناهي . ومن المفيد الاشارة إلى أن هذه النظرية لها علاقات وثيقة ببعض أنماط المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، ومن بينها العديد من « الوظائف الخاصة » (معممة الروابط التي سبقت الاشارة إليها من قبل كارتان E. Cartan ، بشأن تمثيلات الحجم المتناهي ، ومن بينها الوظائف الكروية الكلاسيكية) ؛ وليس من المستحيل أن يأتي يوم توحد فيه نظرية هذه الوظائف بصورة كاملة وتَمنهج بفضل نظرية زمَر لي Lie) .

في سنة 1925 ، تغير مظهر النظرية فجأة ، وذلك بعد قيام ويل H. Weyl بإدخال مسائل تتعلق بزمر Lie « الاجمالية » ، وخاصة زمر Lie الكثيفة ؛ وبيّن ويل ، كيف أن التكامل ، في هذه المسائل ، بالنسبة إلى القياس اللامتغير حول المجموعة (تكامل استعمله هورفيتز Hurwitz منذ

1897) ، يعطي ثانية ، بشكل أسرع ، نتائج كارتان E. Cartan حول بنية وحول مستقيمات تمثلات جبرات لي Lie البسيطة ، بعد استكمالها في نقاط كثيرة أساسية . هذه النتائج الباهرة حملت كارتان E. Cartan على العودة إلى كل النظرية من وجهة النظر الشاملة الاجمالية . فدمج كارتان نتائجه الخاصة « اللامتناهية الصغر » بأفكار ويل H. Weyl وبحوثه الذاتية حول الجيومترية الريمانية (نسبة إلى ريمان Riemann) فتوصل ، فيما توصل ، إلى توضيح بنية كل زمرة Lie الكثيفة ، وإلى تبيين وجود ـ داخل كل زمرة لي Lie الاجمالية ـ زمرة فرعية كثيفة قصووية (قاعدة تبقى احدى القواعد الأعمق في كل النظرية) ؛ فضلاً عن ذلك لقد طرح لأول مرة مسألة بنية الزمر الشاملة وفضاءاتها المتسقة من وجهة نظر الطوبولوجيا الجبرية ، وبيَّن أنه بالنسبة إلى الزمر ، ترتد هذه البنية إلى بنية الزمرة الفرعية الكثيفة القصووية . هذه المسألة حملته على استعادة اراء بوانكاريه Poincaré حول العلاقات بين الاشكال التفاضلية واعداد بيتي Betti ، وعلى التكهن بسلسلة كاملة من خصائص اعداد بيتي Betti حول الزمر البسيطة الكلاسيكية التي استطاع أن يبين بعضاً منها .

إن هذه الأفكار سوف يكون لها أثر كبير على الجيل الشاب بعد 1935 (براور R. Brauer وهوف H. Hopf وتلامذته ثم ايهرسمان Ehresmann) ، والتقنيات التماثلية من تلك الحقبة اتاحت منذ ذاك التثبت من حدسيات كارتان E. Cartan حول المجموعات الكلاسيكية . في سنة 1949 استكملت هذه النتائج بتحديد اعداد بيتي Betti حول الزمر البسيطة الاستثنائية (شوفالي وين ـ تشي ـ تاه Yen - Chi - Tah) ، تحديد جاء كنقطة ذروة في دراسة الوسائل الجبرية الخالصة التي تسمح باستخراج كل النتائج التماثلية المطلوبة من قبل جبر لي Lie حول الزمرة (ويل ، شوفالي ، كارتان H. Cartan ، كوزول Koszul) . وبعد ذلك بقليل ، أكمل تطبيق ـ من قبل بوريل A. Borel وسير Serre ـ التقنيات الطوبولوجية الأكثر تقدماً (الفضاءات الخيوطية التصنيفية ، قوات ستينرود Steenrod ، السلاسل الطيفية) هذه النتائج بسلسلة كاملة من القواعد حول الجدل والبنية التضعيفية في التماثل المتبادل Cohomologie . وأخيراً ، ومن وقت قريب ، أتاحت طرق من طبيعة أخرى مختلفة (مرتكزة على حساب التبدلات الشامل ، نظرية مورس Morse) ، اضافة إلى التقنيات الحديثة في الطوبولوجيا الجبرية أمام بوت R. Bott أن يحدد قسماً كبيراً من زمر هوموتوبيا الزمر البسيطة . ونظراً للدور المركزي الذي تلعبه زمر لي في نظرية الفضاءات الخيوطية ، فقد بدت هذه النتائج مذ ذاك ذات مدى ضخم ، وشكّلت أوّل مثل حول التحديد الإيضاحي لسلسلة π_n (X) بالنسبة إلى فضاء (X) غير عادي .

إلى جانب هذا المظهر الطوبولوجي الغني جداً ، قدمت زمر لي Lie مظهراً جبرياً لا يقل أهمية . فقد لاحظ Lie وكارتان E. Cartan أن الزمر البسيطة لها معادلات شاملة جبرية ، وادرك كارتان E. Cartan أن الزمرة المشتقة من زمرة Lie الخطية يمكن دائماً تحديدها بهذا الشكل . ان الأفكار الحديثة في الجيومتريا الجبرية « المجردة » يجب أن تجر ، بداهةً ، رياضيي زمننا إلى القيام بدراسة خاصة للزمر الجبرية ، وبالطبع دون الاقتصار على الحالة الكلاسيكية ، حالة الحقول الأساسية ، سواء كانت هذه الحالة حقيقية أم معقدة . هنا تسقط الطرق المتناهية الصغر تماماً ؛ فضلاً عن ذلك ، وحتى في الحالة الكلاسيكية ، هناك فئة كاملة مهمة من الزمر الجبرية لا

تستطيع فيها نظرية لي إلا اعطاء نتائج تافهة ، وهي « المنوعات الابيلية » التي يرجع تاريخ درسها إلى ريمان والتي طورها الجيومتريون الطليان . وفي أيامنا ، توسعت هذه النظرية ذات الانعكاسات العميقة على الجيومتريا الجبرية وعلى نظريات الاعداد لتشمل الحالة المجردة ، وذلك بفضل ويل A. Weil ومدرسته . وعلى العموم بيّن شوفالي أن زمرة جبرية ما G مثلاً لها زمرة فرعيّة ثابتة خطية L بحيث يكون الحاصل G/L منوعة آبيلية ؛ وبالنسبة إلى الزمر الخطية ، وبفضل طرق جديدة وضعها بوريل A. Borel ، توصل سنة 1956 إلى اثبات تماهي تصنيف الزمر نصف البسيطة (من حقل مغلق جبرياً) مع تصنيف كيلينغ ـ إ . كارتان في الحالة « الكلاسيكية » وهي نتيجة غير متوقعة بقدر ما هي واعدة ، ويتوجب بعد معالجة حالة الحقول الأساسية غير المغلقة جبرياً ؛ ومن الممكن بشكل خاص أن تكون لدراسة زمر Lie حول الأجسام البادية P-adiques نتائج مهمة بالنسبة إلى المسائل الديوفانتيه . وأخيراً ، يبقى أن نشير إلى نتيجة اخيرة ملحوظة تماماً عند شوفالي (1955) : انطلاقاً من جبرات لي Lie البسيطة حول الاعداد المعقدة فقد استطاع أن يستخلص منها ، بوسيلة موحدة الشكل ، زمراً (تجريدية) بسيطة محددة ونهائية ، بعض أنماطها جديد كلّياً . ومن الواقعي أنه من خلال أساليب مماثلة ، يمكن الحصول على كل الزمر البسيطة المعروفة في الوقت الحاضر ، وربما يعتبر هذا خطوة نحو حل إحدى المسائل الأصعب في الجبر الحديث وهي تحديد كل الزمر البسيطة النهائية .

الفصل الثالث

نظرية وظائف المتغيرات الحقيقية

في وضع من التماثل شبه الكامل ، عند ولادة القرن الحالي [القرن العشرين] تلقت نظرية وظائف المتغيرات الحقيقية تغيراً شاملاً غيَّر طبيعتها بشكل جذري .

ما قدمه القرن التاسع عشر ـ لقد حدد القرن التاسع عشر بصورة تدريجية ومجتهدة التصورات الأساسية التي عليها ارتكز البناء الجديد .

في سنة 1281 حدد كوشي Cauchy الاستمرارية والتلاقي . الأمر الذي أعطى لتحديداته سمة جديدة ونهائية ، انها تجاهلت الوسيلة التي بها تعرف الوظائف (الدالّات) عن نفسها ، في حين كان التعبير الشكلي والوظيفة ، من قبل ، مفهومين لا يفترقان .

ولكن كوشي لم يستعمل هذه الأدوات القوية إلا في مجال الوظائف التحليلية التي خلق لها نظريتها المدهشة . ولم تهتم مدرسته بوظائف المتغير الحقيقي إلا عندما تتوافق هذه الوظائف مع القيم المتحدة على المحور الحقيقي بفضل وظيفة تحليلية . واستعمل فايرستراس Weierstrass في الحقل الحقيقي المبادىء التي وضعها كوشي ، فحلل مفهوم الاستمرارية في وظيفة متغير ، في كل نقطة من جزء خط (a, b) (بما فيه طرفاه) ؛ وأوضح المفاهيم الرئيسية في التناسق ، والاستمرارية المتسقة فوق (a, h) ، ذات التلاقي المتسق في سلسلة ، كما بيّن استقلالية مفاهيم الاستمرارية والاشتقاقية .

وعلى كلٍ فقد كانت له عودة إلى الهم القديم الكلاسيكي حول الوظيفة الخاضعة لأسلوبها التعبيري . وأثبت أن كل وظيفة مستمرة هي مجموع سلسلة من متعددات الحدود (Polynômes) المتلاقية بشكل موحد . أن التلاقي ، في كل نقطة ، في سلسلة من الوظائف المستمرة لا يؤمن استمرارية مجموعها ؛ أن السلاسل التريغونومترية قد أثبتت ذلك . وكان لا بدَّ من انتظار القرن التاسع عشر ، كي يعطي آرزيلا Arzela ، مع مفهوم شبه التواحد في التلاقي ، الشرط الضروري والكافي لكي يكون مجموع السلسلة مستمراً . وهناك انجاز آخر حاسم : المبدأ الذي وضعه ديريكليه Dirichlet ، وبموجبه يكون y وظيفة تبعاً لِـ x منذ أنه ، وبموجب مطلق وسيلة ، يُعمد إلى

مطابقة أي x معين مع أي y معين . ويذكر أن هذه المفاهيم والتعاريف المطبقة على دراسة المتغيرات الحقيقية قد ابتدعت من أجل متغير وحيد ، مع الفكرة الضمنية القائلة بأن الصعوبات الأساسية كانت كلها ضمن هذه الحالة .

ويأتي أخيراً التعريف الشهير الذي وضعه ديدكيند Dedekind للعدد اللاجذري . إن الأدوات المنطقية قد أصبحت موجودة الآن . وتنقص المواد فقط . وقد قدّمها كانتور Cantor ، بفضل نظريته حول المجموعات (ensembles) ، التي سوف تتشكل أمثلتها من نقاط المستقيم ، فالنقاط والاعداد قد اختلطت في ذهنه (راجع المجلّد III) .

وسف يحدث منعطف في النظرية . في السابق ، كانت الوظائف تعتبر فقط حول المسافات ، وجوار النقطة كان مسافة ، والآن ، تدرس الوظائف فوق مجموعات متنوعة من النقاط ، وجوار النقطة أصبح مقتصراً على نقاط من هذا المجمع . وتفتت المحتوى : أنه غبار من النقاط عند ديدكيند Dedekind . ومن اليسير استعمال هذه النقاط لتشكيل أي تجميع مطلوب .

وتلقى الرياضيون أفكار كانتور Cantor برهبة وأحياناً بغضب . وطيلة عشرين سنة ظلت قلة من المحللين فقط (من ذوي الرؤى الكلاسيكية جداً مع ذلك ، منهم بوانكاريه Poincaré بوظائفه الفوشيه (نسبة إلى فوش Fuchs) ومساراته على كرة « القالب الطوقي » (tore) ، ومنهم أيضاً بانليفيه Painlevé ، ومعه نقاطه الأساسية ، غير المعزولة عن الوظائف التحليلية) ، تعتمد المجموعات الكاملة المتقطعة تماماً .

وبعدها تم وضع قياس المجموعات (راجع الفصل الأوّل من هذا القسم) . وبذات الوقت تقريباً فتح بير Baire وليبيغ Lebesgue ، عهداً جديداً في نظرية وظائف المتغيرات .

نظريات بير - توافق فكر بير Baire تماماً مع فكر كانتور Cantor . وبفضله ، فإن الموارد التي قدمها كانتور إلى المحللين وهي القابل للعد ، وفوق المتناهي ، والمجمعات الجيومترية كشفت عن غناها . وقبل ذلك ، تمّ التساؤل عن كيفية اجبار سلسلة من الوظائف المتتابعة على التوجه نحو وظيفة مستمرة . وقلب Baire المشكلة . ما هي الصفات الضرورية والكافية التي تقدمها f (x) لكي تكون عند حد سلسلة من الوظائف المتتابعة ؟ وحلّ بير هذه المسألة بتحليل مدهش .

فالوظيفة التي تمتلك نقطة واحدة من اللاتتابع ، ثم عدداً متناهياً من مثل هذه النقاط ، هي حد للوظائف المتتالية . وعرف كانتور Cantor مشتق مجموعة غير متناهية E . إنها المجموعة E' لنقاط تراكم E ، أي للنقاط التي لها في هذا الأخير عدد لا متناهٍ في جوارها . إن هذا المشتق قد يكون لا متناهياً وقد يقبل مشتقاً . ويمكن تعريف مشتقات من كل مرتبة متناهية أو فوق متناهية . إذا كانت α ذات سابق $(\alpha - 1)$ فإنّ E^{α} هي مشتق $E^{\alpha-1}$ ؛ وإذا كانت α من دون سابق إنّ E^{α} هي المجموعة المشتركة بين كل $E^{\alpha'}$ عندما تكون $\alpha' < \alpha$. ويقال عن المجموعة معدومة المشتق أنها قابلة للاختزال : وهي قابلة للعد . وإذا كان مجمل نقاط انقطاع f قابلاً للاختزال فإنّ f تكون حداً

للوظائف المستمرة . وإذا كانت المجموعة غير قابلة للاختزال ، فإن أحد مشتقاتها يكون كاملاً .

وقد حدد بير المجموعات الكثيفة ، الكثيفة في كل مكان ، وليست الكثيفة فوق مجموعة كاملة معيّنة P . وبيّن أن P لا يمكن أن تكون مجموع عدد كبير قابل للعد من المجموعات غير الكثيفة عليه . وقد أعطى لمثل هذا المجموع اسم المجموعة من الفئة الأولى على P . وكلّ مجموعة تحتويها P ، دون أن تكون من الفئة الأولى على P يُقال لها من الفئة الثانية . وأعطى دنجوي Denjoy اسم بقيّة P للمجموعة الواقعة على P والتي تتمتّها بالنسبة إلى P هي مجموعة من الفئة الأولى .

واكتشف بير Baire أنّ المجموعة الكاملة ، حتّى ولو كانت منقطعة تماماً ، تقدّم للوظائف دعماً يعادل بشكل محسوس المجموعة المستمّرة . وحدّد في كلّ نقطة من المجموعة الكاملة P الذروة ، والأدنى ، والتأرجح المختصّة جميعها بـ P والعائدة لوظيفة محدّدة على P . وقد بيّن أنه بالنسبة لكل وظيفة قصوى من الوظائف المستمرّة ، وبالنسبة إلى كل مجموعة كاملة ، تكون مجموعة نقاط انقطاع الوظيفة f المختصّة بـ P ، من الفئة الأولى ؛ f هي إذن منقطعة نقطياً فوق P (نقاط الاستمرار هي كثيفة في كلّ مكان فوق P) . إنّ هذا الشرط الضروري هو أيضاً كاف . وقد بيّنه بير متغلّباً على صعوبات عميقة .

يقول بير عن وظائف ـ حدود الوظائف المستمرّة أنّها تشكّل الطبقة رقم 1 في الوظائف ، والطبقة صفر هي طبقة الوظائف المستمرّة . إنّ الوظائف من الطبقة الأولى هي مجموع سلسلة متلاقية في كلّ حدودها هي متعدّدات حدود . الأمر الذي يردّها إلى شكل تقليدي .

إنّ مشتقّات الوظائف المستمرّة ، ومجاميع السلاسل التريغونومترية المتلاقية هي وظائف من الطبقة 1 وكذلك أيضاً (دنجوي) : إنّ الوظائف المستمرّة تقريباً أو ذات الاستمرار الغالب ، والمشتقّ الثنائي الجوانب الوحيد من وظيفة مستمرّة ، أو مشتقّها التقريبي ، أو الغالب ، هي مفترضة الوجود في كل نقطة من مسافة .

وفكّك بير الاستمرارية إلى استمراريتين نصفيتين ، الأولى عليا والأخرى سفلى ، في كلّ نقطة ، مع إهمال طرف أقصى من اللامعادلة المزدوجة $f(x) - \varepsilon \leqslant f(x) + \varepsilon$. إنّ الوظائف نصف المستمرّة هي من الطبقة 1 . ولهذا التصوّر مدلول واسع جدّاً .

ويعتبر بير الوظائف القصوى في سلسلة متلاقية من الوظائف من الطبقة الأولى . وإن لم تكن من الطبقة صفر أو واحد يقال أنّها من الطبقة الثانية . وتتتابع هذه الفكرة بالنسبة إلى كلّ الترتيبات المتناهية أو فوق المتناهية . فالوظيفة من الطبقة α هي حدّ لسلسلة متلاقية من الوظائف من الطبقة الأدنى من α ، دون أن تكون بذاتها من طبقة أدنى من α . بعد أن خصّص أطروحته سنة 1901 لنظريته الكبيرة ، قام بير بتمييز وظائف الطبقة 2 ، ثمّ وظائف الطبقة 3 التي قدّم عنها مثلاً فعّالاً . وفي موسكو حصلت مدام كلديتش Keldych على وظائف من كلّ طبقة منتهية . ونجد فيها عبارة عن الوظائف المميّزة لمجموعة أعداد يجري تطويرها ككسر مستمرّ بواسطة سلاسل من مخارج

القسمة غير كاملة تتضمّن أوضاعاً فريدة محدّدة . نحو 1930 ، قام لوزين Lusin بتحديد الشروط الضرورية والكافية لأن تكون إحدى الوظائف من الطبقة × ، لكل عدد × في الطبقتين I و II . بعد 1920 ، قطعت المدرسة البولونية ، عبر مذكّرات عديدة وعميقة شوطاً بعيداً في دراسة وظائف بير .

إنّ نظرية بير التي تميّز الوظائف من الطبقة I تعتبر صالحة لوظائف بعدّة متغيرات . فقد بيّن لوبيغ Lebesgue أن الوظيفة ذات عدد n من المتغيرات x_i ومن الطبقة I بالنسبة إلى كل منها ، يمكن أن تكون من الطبقة n على المستقيم : $x_1 = x_2 = \ldots = x_n$.

إذا كانت كل وظيفة مستمرة فوق قسم من خط تمكن مقاربتها إلى ما لا حد له بواسطة متعدد حدود ، فإن وظائف بير Baire من شأنها أن تظهر من خلال سلاسل مضاعفة من متعدّدات الحدود ؛ وتكون قابلة للتمثيل « تحليلياً » .

نظريات لوبيغ ـ في سنة 1912 عرف لوبيغ Lebesgue في أطروحته متكاملته الشهيرة . إن قياس مجموعة خطيّة E واقعة فوق قسم من خط (a, b) طوله $L = b - a$ حدده لوبيغ Lebesgue وكذلك بوريل Borel ، آخذاً في الاعتبار ، تضامناً مع E' ، المكمل E' لـ E على (a, b) .

ويجري تغليف عناصر E وE' ضمن نظامين من المسافات Σ وΣ' . لنفترض m_e و m'_e الحدّين الأدنيين لمجموع طولي مسافات Σ وΣ' ، بالنسبة لكلّ الأنظمة الممكنة . يسمّي لوبيغ m_e القياس الخارجي لـ E و m_i $(m_i = e - m'_e)$ قياسه الداخلي .وتصبح بعدها E (ومعها E') قابلة للقياس وذات قياس m إذا كانت $m = m_e = m_i$.

إن هذه التصورات لا تأتي بجديد بالنسبة إلى قياس بوريل Borel ولكن لوبيغ Lebesgue بيّن ما لم يتمكن بوريل Borel من التوصل إليه ، أي وجود مجموعات غير قابلة للقياس مثلاً عندما تكون $m_i = 0$ و $m_e = 1$.

ولاحظ دنجوي Denjoy سنة 1910 أن E إذا حذف منها قسمها المشترك مع Σ' ، تصبح مجموعة مغلقة ذات قياس أعلى من $(m_i - \varepsilon)$ ؛ باعتبار ε ايجابية يمكن أن تفترض صغيرة من غير فرق . .

واستنتج من ذلك أن القياس الداخلي لـ E هو الذروة في قياسات المجموعات المغلقة ، الموجودة في E ، وأن كل مجموعة قابلة للقياس هي مجموع سلسلة من المجموعات الكاملة الكثيفة بذاتها مع مجموعة ذات وزن عدم . وتستمد طوبولوجيا الوظائف قوة من الفرضيات المترية .

وأدخل لوبيغ Lebesgue الفكرة الأساسية ، فكرة الوظيفة القابلة للقياس : تكون f(x) قابلة للقياس ، مهما كان العددان B وA(A<B) ، إذا كانت مجموعات الاعداد x ، المحقّقة $A < f(x) < B$ ، قابلة للقياس . إن قياسية المجموعات $A < f(x)$ أو $A \leqslant f(x)$ مهما كان A أو $f(x) < B$ أو $f(x) \leqslant B$ ، مهما كان B ، تجر وراءها قياسية f(x) منظوراً إليها على مسافية محدّدة .

إن الذروة والحضيض ، وان أكبر أو أصغر حد ، وأن الحد الوحيد لسلسلة لا متناهية من الوظائف القابلة للقياس هي وظائف قابلة للقياس . ومن الناحية العملية ، تكون كل الوظائف تحت التحليل قابلة للقياس ، في حين أن الصفات المرتبطة بالاستمرارية تضيع في الحال بالانتقال إلى حد السلسلة . أن متكاملة Lebesgue تتحدد كما يلي : $f(x)$ وظيفة قابلة للقياس ومحددة بخلال المسافة (a, b) ، ونفترض l_i سلسلة غير محددة من الأعداد المتزايدة ، اللامتناهية مع i ومحقّقة المعادلة التالية : $l_0 = 0$ و $l_i - l_{i-1} < W$ ، ونفترض m_i ، قياس مجموعة قيم x التي تحقق $l_{i-1} \leqslant f(x) < l_i$. وإذا كانت السلسلة $\sum_{-\infty}^{+\infty} l_i m_i$ متلاقية بالقيمة المطلقة ، فهي تنزع نحو حد I عندما تكون W (المستقلة عن i) نازعة نحو صفر ؛ باعتبار I متكاملة لوبيغ Lebesgue $\int_a^b f(x)\,dx$. ونفترض على التوالي $m(y)$ وفيها $y > 0$ و $m'(y)$ وفيها $y < 0$ ، قياسي مجموعات (x) المحددة بـ : $f(x) > y > 0$ و $0 > y > f(x)$. ويكون I هو الفرق بين متكاملتي ريمان Riemann وهما متكاملتا الوظائف المتناقصة بالنسبة إلى y : $\int_0^{\infty} m(y)\,dy - \int_{-\infty}^{0} m'(y)\,dy$ (بونغ ، دنجوي) .

من المسموح به دمج حدّاً بحدٍ سلسلة من الوظائف القابلة للقياس محدودة نازعة نحو نهاية (لوبيغ ، Lebesgue) . ومثل هذه النتيجة العمومية تقرر عظيم تفوق متكاملة لوبيغ Lebesgue على متكاملة ريمان Riemann ، التي لم تكن معها نفس العملية متاحة إلا ضمن شروط خاصة جداً .

مهما كانت ε ايجابية ومعينة ، فإن كل وظيفة قابلة للجمع هي مجموع وظيفة مستمرة ووظيفة أخرى قيمتها المطلقة ذات متكامل أقل من ε (لوزين Lusin) .

إذا كان العدد $\lambda(x)$ المتناهي القابل للجمع موجوداً في كل نقطة من مسافة (a, b) ، وبالنسبة إلى جهة واحدة ، مشتقاً أقصى (أو أوسط ، برأي دولا فاليه ـ بوسّان ـ de La Vallée Poussin) من الوظيفة المستمرة $F(x)$ ، عندها تكون متكاملة لوبيغ $\int_a^b \lambda(x)\,dx$ مساوية لـ $F(b) - F(a)$.

لقد درس دولا فاليّه ـ بوسّان زائدات وناقصات $F(x)$ ، أي وظائف $B(x)$ و $A(x)$ حينما يكون المشتق الأدنى من A أعلى أو مساوياً لـ $\lambda(x)$ وحينما يكون المشتق الأعلى من B أدنى أو مساوياً لـ $\lambda(x)$.

وقرر لوبيغ هذه القاعدة الرئيسية : إذا كان $f(x)$ قابلاً للجمع فوق المسافة (a, b) ، فإن المتكاملة $\int_a^x f(x)\,dx$ هي وظيفة مستمرة تفترض $f(x)$ كمشتق في كل نقطة ، إلا في حالة مجموعة ذات قياس باطل .

دراسات مرتبطة ـ قدم دنجوي علاقات بين المجاميع المتداخلة في تعريف متكاملة ريمان ذات الوظيفة $f(x)$ حول مسافة (a, b) ومتكاملة لوبيغ $I = \int_a^b f(x)\,dx$ إذا كانت $f(x)$ قابلة للجمع .

إن المشتق f(x) من الوظيفة المستمرة F(x) ليس بالضرورة قابلاً للجمع . إن المجموع g(x) من سلسلة تريغونومترية متلاقية ، لا يكون ، بوجه العموم ، قابلاً للجمع ، ولكنه المشتق الثاني المعمم من وظيفة مستمرة G(x) ليست دائماً مشتقاً أول مستمراً .

إن متكاملة لوبيغ لا تكفي في كل الحالات لحل مسألة العثور على بدئية مشتق معين ، ولا على معاملات السلسلة التريغونومترية لوظيفة معينة . ويتوجب على التكامل المتغلّب على هذه المصاعب أن يكون أقوى من تكامل لوبيغ ، مع امتزاجه به ، في الحالة التي تكون فيها الوظائف الواجبة التكامل قابلة للجمع . هذه النتيجة حصلت بفضل اكتشاف دنجوي في سنة 1912 « للتجميع » (Totalisation) الذي أتاح العودة من المشتق إلى الوظيفة . ولاحظ مونتل Montel أن نفس العملية تتيح دمج الاعداد المشتقة القصوى المفترضة كلها أنها نهائية في كل نقطة من (a, b) .

ولدرس هذه المواضيع بشكل أعمق ، طور دنجوي نظرية حول الاشتقاق من الدرجة الأولى ، بواسطة اعتبارات تارة وصفية ، وتارة مترية وحصل على النتائج التالية :

إن الاعداد الأربعة المشتقة القصوى في وظيفة مستمرة تتجمع ، إذا أهملنا الأحداث المعثور عليها في مجموعات ذات قياس باطل ، وفقاً لأربعة أشكال ممكنة . ان مشتقين أقصيين من نفس الجهة يوصفان بأنهما « مشتركان » وان مشتقين من جهة ومن مرتبة مختلفين يقال أنهما « متعارضان » ، وإن مشتقين مشتركين اما أن يكونا معاً متناهيين أو متساويين أو غير متساويين إذا كان أحدهما على الأقل لا متناهياً . والمشتقان المتعارضان يكونان متناهين ومُتساويين أو غير متناهيين وغير متساويين .

وأدخل دنجوي التجميع (Totalisation) الكامل والتجميع البسيط . وأدى الأول إلى المشتق البسيط ؛ والثاني إلى المشتق التقريبي ، وهو مفهوم عثر عليه كنتشين Khintchine (1916) منفرداً .

هناك تماوٍ بين المجاميع البسيطة غير المحددة والوظائف القابلة للحل . فالوظيفة تكون حلولية إذا كان تغيرها ، فوق كل مجموعة كاملة وخفيفة ، يداني الصفر . فكل وظيفة حلولية تمتلك مشتقاً تقريبياً تكون هي مجموعه غير المحدد .

وتكون حلولية الوظائف المزودة ، في كل نقطة ، بمشتق اقصى محدد ، أو بمشتق صحيح أو تقريبي متناهٍ ؛ أو (بصورة أدق) تمتلك مشتقاً متناهياً ذا جهة لا تتغير فوق سماكة تفوق 1/2 ؛ وكذلك تكون حلولية الوظائف التي تمتلك مشتقاً ثانياً معمماً ومتناهياً ، إلخ .

وقدم دنجوي ، في سنة 1921 ، أسلوب الدمج الذي يتيح حساب صيغ فورييه Fourier . منذ 1913 ، كان نشر أمثلة شديدة العمومية عن مشتقات محدودة تتخذ الاشارتين في كل مسافة وتمتلك السمة المسماة ذات الاستمرارية التقريبية .

مواضيع أخرى - أن التجميع الاصطلاحي للسلاسل المتنافرة كان قد ابتدعه سيزارو

Cesaro . وبيّن فيجير Fejer أن سلسلة فورييه Fourier المؤلفة من كل وظيفة مستمرة تتلاقى في أول مجموع عند سيزارو ، ووسع بوريل كثيراً قوة هذه الوسائل وطبقها على امتداد السلاسل الكاملة المعقدة خارج دائرة تلاقيها . ومنذ ذلك الحين ، ابتكر العديد من الرياضيين وسائل تجميع شديدة التنوع ، ودرسوا بالتفصيل خصائصها ، (رايز M. Riesz ، ميتاغ ـ ليفلير Mittag - Leffler ، وتوبليتز O. Töplitz ، الخ) ، خاصة بطرق التحليل الوظيفي (باناخ ومدرسته) .

وبواسطة طرق مأخوذة عن نظرية وظائف المتغيرات المعقدة ، حصل بوريل سنة 1912 على طبقات الوظائف الحقيقية ، فوصفها بأنها شبه تحليلية ، وتمتلك خاصية أنها تكون محددة فوق كل مسافة وجودها بواسطة معرفة قيمها وقيم كل مشتقاتها في نقطة واحدة ، حتى ولو كانت سلسلة تايلور Taylor حول الوظيفة ذات شعاع تلاق معدوم ، في هذه النقطة وحتى في كل نقطة . وقد قدم دنجوي في سنة 1921 ، تفسيراً لهذه الخصوصية في وظائف بوريل Borel . إن دراسة هذه الوظائف قد لوحقت وعمقت من قبل رياضيين عديدين (كولموغوروف Kolomogorov، ماندلبرويت Mandelbrojt وكارلمان Carleman وكارتان H. Cartan) .

إن متكاملة ستيليجس Stieltjes قد بانت أهميتها عندما قرر رايز F. Riesz إن كل موظفة Fonctionnelle خطية هي متكاملة من متكاملات ستيليجس : ان E (f) ، الموظفة الخطية المستمرة والمتحددة ضمن الفضاء H المتكون من الوظائف المستمرة ، فوق مسافة مكثفة (a, b) هي متكاملة من متكاملات ستيليجس :

$$E(f) = \int_a^b f(x)\, d\omega(x)$$ حيث تكون ω وظيفة ذات تغير كامل متناهٍ في (a, b) .

والقول أن الموظفة E (f) المحددة في H هي خطية ومستمرة يعني أنّه من جهة ، وبالنسبة إلى f_1 و f_2 في H ، حيث k_1 و k_2 ثابتتان ، تكون : $E(k_1 f_1 + k_2 f_2) = k_1 E(f_1) + k_2 E(f_2)$ ومن جهة أخرى أنه ، بالنسبة إلى كل الوظائف f في H بحيث يكون : $|f(x)| \leq 1$ في (a, b) ، مجموعة E (f) هي مجموعة محدودة .

إن دراسة السلاسل التريغونومترية ، وبصورة أعم دراسة سلاسل الوظائف المتعامدة قد أعطت نتائج مهمة بفضل : لوزين Lusin ومنتشوف Menchov وكولموغوروف Kolmogorov . وبذات الوقت أوجد بوهر H. Bohr نظرية الوظائف شبه الدورية .

إن f(x) تنتمي إلى هذا النوع إذا كان يوجد سلسلتان : l_n متنامية بشكل لا متناهٍ و ε_n متنازلة حتى الصفر ، ولكل عدد صحيح p ، $\lambda_{n,p}$ محققة $pl_n < \lambda_{n,p} < (p+1)l_n$ بحيث يكون $f(x+\lambda_{n,p}) - f(x) < \varepsilon_n$ بصورة مستقلة عن x .

هذه الفكرة قد تعممت أكثر بكثير فيما بعد خاصة من قبل بيسيكوفيتش Besicovich وستيبانوف Stepanov وويل H. Weyl ، وأدخلت الفكرة القريبة عن الوظيفة المتوسطة الدورية بفضل دلسارتي J. Delsarte ، ودرسها بنفسه مع شوارتز L. Schwartz . وامتدت هاتان الفكرتان إلى وظائف العديد من المتغيرات الحقيقية وحتى إلى وظائف محددة فوق مساحات عمومية جداً ؛

وهي ترتبط تماماً بالنظرية الحديثة حول الزمر المكثفة والمكثفة محلياً .

وأخيراً أن قاعدة فايرستراس Weierstrass حول التقريب المتناسق في وظيفة مستمرة بفضل متعدّدات حدود قد أثارت العديد من الأعمال التي تتناول سرعة التقريب (Vallée - Poussin وبرنشتاين S.Bernstein ومدرسته ، الخ .) ، أو تتناول قواعد تقريب مشابهة بواسطة وظائف أخرى (مندلبرويت Mandelbrojt وبرنشتاين) .

الفصل الرابع

وظائف المتغيرات المعقدة

تعاريف ـ عرف القرن التاسع عشر ، بفضل كوشي Cauchy وريمان Riemann وفايرستراس Weierstrass وبوانكاريه Poincaré ، ازدهار نظرية وظائف المتغيرات المعقدة . وعرفت هذه النظرية ، في النصف الأول من القرن العشرين مظهراً جديداً وقوياً ، وسارت في طرق وسبل كثيرة متنوعة ، وقد استفادت من عمل تنقية المفاهيم الرياضية التي تطورت بشكل أوسع ، مخلّصة الأحكام من الفرضيات الطفيلية التي تسهل التبيين ، دون أن تكون لازمة لدقتها .

ويقال أن وظيفة المتغير المعقد هي وحيدة السلالة (Monogène ، مونوجينية) في مجال ما إذا كانت تقبل مشتقاً في كل نقطة داخلية ، مهما كان الطريق المتبع من قبل نقطة مجاورة آتية لتختلط بالأولى (Cauchy) . ويقال أن الوظيفة هي « تحليلية » ، إذا كانت ـ حول كل نقطة ـ قابلة للتمثيل بسلسلة كاملة من المتغير (ميراي Meray وفايرستراس Weierstrass) . بين E. Borel إن هذه التعاريف ليس متعادلة : إنّ طبقة الوظائف المونوجينية هي أوسع من طبقة الوظائف التحليلية . إن وظيفة المتغير المعقد تكون هولومورفية (تحليلية) في مجال ما إذا كان متكاملها المأخوذ على طول محيط مغلق معدوماً . وتسمى متعددة الجوانب (multivalente) من المرتبة p إذا اتخذت عدة مرات (p مرة) ، على الأكثر ، كلا من قيمها ، واتّخذت فعلاً عدة مرات (p مرة) احدى هذه القيم . وعندما تكون p مساوية لواحد (p = 1) تكون الوظيفة وحيدة الجانب (مونتل P. Montel) . وبيّن مارتي F. Marty أن مجال أية وظيفة تحليلية متعددة الجوانب يمكن أن يقسم إلى خلايا وحيدة الجانب .

وتعطي الوظيفة التحليلية الوحيدة الجانب ، في مجال ما « تمثيلاً منسجماً » لهذا المجال في اطار المتغير فوق مجال من إطار ممثل لقيم الوظائف . هذا التطابق المزدوج (biunivoque) يحتفظ بالزوايا ، ويحتفظ ، في كل نقطة ، بعلاقة أطول قوسين متناهيي الصغر منطلقين من هذه النقطة .

لنأخذ المعادلة : $f(z) = u(x, y) + iv(x,y), z = x + iy,$ وفيها تدل u و v على وظيفتين

حقيقيتين للمتغيّرتين الحقيقتين x,y . فإذا كانت الوظيفة مونوجينية عند z ، نحصل على العلاقات :

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \qquad (1)$$

والعكس ليس صحيحاً . وبين منتشوف Menchov ان هذا العكس يحصل إذا كانت الوظيفة f (z) تقبل المشتقات المتناهية في x وفي y وتمتلك متفاضلة كاملة ، متفاضلة ستولتز ـ فريشيه Stoltz - Fréchet خاصة إذا كانت المشتقات مستمرة .

بيّن غورساه Goursat إن الوظيفة المونوجينية في كل نقطة من مجال تكون هولومورفية (تحليلية) في هذا المجال . وأضاف بومبيو Pompeiu انه ، إذا كانت f (z) مستمرة ، فيكفي أن تكون الوظيفة مونوجينية ، إلا ربما ، في مجمل قابلٍ لتعداد النقاط [محدود النقاط] .

وافترض لومان Loomann فقط أن f (z) مستمرة وتحقّق شروط (1) ، وافترض منتشوف امكانية وجود مجموعة قابلة للتعداد استثنائية . كما افترض مونتل f(z) Montel محدودة وشروط (1) متحققة في كل مكان تقريباً .

وقد تم الاقتراح بقصر شروط المونوجينية في نقطة واحدة . وبين مونتل أنه يكفي أن يكون لـ f (z) نفس المشتق تبعاً لاتجاهين قائمين ثابتين . وبيّن منتشوف فيما بعد أن الاتجاهات يمكن أن تشكل زاوية متغيرة . وأنه قد توجد مجموعة قابلة للتعداد استثنائية .

إن وجود مشتق ، في نقطة ما ،أي وجود حد بالنسبة إلى القسمة $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ بين تزايدات الوظيفة والمتغير عندما ينزع تزايد الأخير بصورة تحكمية ، نحو الصفر ، يعود إلى الافتراض أن لكل من $\left|\frac{\Delta f}{\Delta z}\right|$ وسعة $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ ، حداً ضمن نفس الشروط . والحالة التي يتم التأكد فيها فقط من وجود أحد هذين الحدين ، كانت موضوع بحوث من قبل بوهر H. Bohr ومنتشوف D. Menchov ورادمتشر M. Rademacher وفيدوروف Y. Fedorov .

إننا سنفترض فيما بعد وجود نفس الحد ، اما في كل الاتجاهات ، واما في ثلاثة اتجاهات . وعندها نحصل على النتائج التالية : تكون f (z) مونوجينية إذا قبلت تفاضلية شاملة من تفاضليات ستولتز ـ فريشيه Stoltz-Fréchet وإذا كانت سعة $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ تحقق الشرط المذكور أعلاه . وتكون f(z) مونوجينية أو متزاوجة مع وظيفة مونوجينية إذا حققت $\left|\frac{\Delta f}{\Delta z}\right|$ الشرط المذكور أعلاه . ونحصل على نفس النتائج إذا افترضنا أن f (z) هي مستمرة ووحيدة الطرف وإن الشروط المفروضة على السعة أو على المعيار module محققة إلا فيما خص النقاط في مجموعة معدودة .

إن مفهوم المونوجينية قد توسّع بإدخال المشتق المساحي (في سنة 1912 من قبل بومبيو Pompeiu) . إن هذا المشتق ، المرموز اليه بالرمز $\frac{Df}{D\omega}$ ، هو مزيج خطي من التعابير

الموجودة في الشروط (1) . ولدينا ، بالتعريف :

$$\frac{Df}{D\omega} = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} + i\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]$$

ولدينا أيضاً : $\frac{Df}{D\omega} = \lim_{\omega \to 0} \frac{\int_C f(z)\,dz}{\omega}$ عندما يكـون المجال ω المحدود بـالاطار C، مقصـوراً على النقطة موضع الدراسة .

إن الوظائف ذات المشتق المساحي المعدوم ، تكون مرنـوجينية ؛ وهي تلعب هنـا نفس دور الثوابت بالنسبة إلى المشتق العادي . أما الأخريات فتسمى بوليجينية (متعدِّدة الأصل) . وبالنسبة إلى الـوظائف التي تقبل بمشتق احتمـالي ، قرر بـومبيو D. Pompeiu صيغـاً مشابهـة لصيغ كـوشي Cauchy ، بالنسبة إلى الوظائف التحليلية .

لقـد درست الوظـائف البوليجينيـة أولاً من قبل كـاسنـر M. Kasner ثمّ من قبـل هـايـاشي T. Hayashi وبورغاتي P. Burgatti ، وفتحت المجال ، ابتداء من 1930 ، أمام العديـد من البحوث ، خـاصة داخـل المدرسـة الـرومية Roumaine . وادخـل تيـودورسكـو N. Teodorescu الـوظـائف المونوجينية (∝) ، وعندما يكون المشتق الاحتمالي مستمراً ، أدخل أيضاً الوظائف التحليليـة (∝) . وهناك أعمال أخرى تعزى إلى غريفيث Griffith وإيفانس Evans وتونولو A. Tonolo ومارتينيللي E. Martinelli وفينيـوه J. Vignaux وكوتلار M. Cotlar وبور V. C. Poor وريدر J. Ridder وبولاتشيـك F. Pollaczek وفيـدوروف V. S. Fedorov وفيكوس N. Vekus . وتمّ ادخـال المعادلات التفـاضلية المساحية ، متعدِّدات الحدود المساحية مع توسعات ، حالياً ، في الفضاءات ذات الأبعاد المتعددة (بـويـارسكي B. V. Bojarski واليـانـا I. Eliana) . وتُعنَى تـطبيقـات هـذه المفـاهيم بـالفيـزيـاء الرياضية ، وبخاصة المطاطية والهيدروديناميك .

إن الـوظيفة المـونوجينيـة تفترض أيضـاً بدئيـة في مجال وجـودها لأن تكـاملية هـذه الوظيفـة المأخوذة على طول قوس من منحنٍ منطلق من نقطة ثابتة في هذا المجال هي ذات قيمة مستقلة عن الـطريق المتبع ، لأنـه سنداً لقـاعدة كـوشي ، تكون التكـامليـة المـأخـوذة على طـول اطـار مغلق معدومة . وينتج عن ذلك أن قيم الوظيفة في مجال داخلي من مجال وجودها ، تتحدد بمعرفـة هذه القيم حول إطار هـذا المجال . ولم يعـد الأمر بمثـل هذا بـالنسبة إلى الـوظائف التي تقبـل بمشتق مساحي غير معدوم لأن معادلات بومبيو D. Pompeiu تُدْخِل قيم هذا المشتق داخل المجال .

التحليليـة ـ إذا مثلنا المتغيـر المعقد بنقـطة على سطح مسنـود إلى محورين قـائمين ، تعمل وظيفة تحليلية Z = f (z) على مطابقة كل نقطة z من مجال (d) من السطح z ، مع نقطة Z من مجال (D) في الســطح Z . وإذا تطابقت ، مـع قيمةٍ a من المتغيـر ، القيمة الـلامتنـاهيـة من Z ، تسمى النقطة a قطب الوظيفة f (z) . وإذا قبلت وظيفة تحليلية في مجال (d) أقطاباً ، توصف بـأنّها جـزئية التشكّـل في (d) ، إن الوظيفـة التحليلية لا تـأخذ إلا قيمـاً متناهيـة . والأولى والأخرى يقـال أنهما منتظمتان في (d) .

كان القطب يعتبر في بادىء الأمر كأنه نقطة فـريدة في الـوظيفة . ويعتبـر في الوقت الحـاضر

كنقطة عادية . ويكفي فيه اجراء تحويل هوموغرافي (موبيوس) بالوظيفة ، بأخذ عكسه مثلاً ، للعثور على قيمة متناهية .

ونرى في السطح المعقد ، أن القيمة اللاّمتناهية تتطابق مع نقطة واحدة في حين تشكل النقاط اللامتناهية خطاً مستقيماً ، ضمن السطح الاسقاطي .

وتتضح بسهولة هذه الخصوصية ، بواسطة اسقاط مجسامي . وانطلاقاً من نقطة 'O في الفضاء واقعة على العامودي فوق سطح ذي أصل O وعلى البعد 1 ، إذا غيرنا السطح بقلب للمركز 'O وبقوة 1 ، نحصل على سطح كرة قطرها 'OO . إنّ النقطة اللامتناهية من السطح تتوافق مع النقطة 'O من الكرة . نستبدل السطحين المعقدين z و Z بكرتيهما الريمانيتين (نسبة إلى ريمان) ؛ عندها تطابق المعادلة $Z = f(z)$ ، كل نقطة من النطاق الكروي (δ) لأحرف z الصغرى ، مع نقطة من المجال الكروي (Δ) لأحرف Z الكبرى .

إن المشتق الكروي لـ f(z) ، الذي أدخله مارتي F. Marty ، يحدد كأنه منتهى علاقة أطوال قوسين لا متناهيي الصغر متطابقين مرسومين فوق كرتين .

هذا المشتق $\mathfrak{D}f$ يرمز إليه بـ : $\mathfrak{D}f(z) = |f'(z)| \frac{1 + |z|^2}{1 + |f(z)|^2}$

إن قيمته لا تتغير في نقطتين متقابلتين قطرياً في كرة أحرف z الصغرى المتوافقة مع قيم z و $-1/\bar{z}$ أو Z و $-1/\bar{Z}$. إن المشتق الكروي له دوماً قيمة متناهية ، ايجابية أو معدومة .

لقد اعتبرنا ، حتى الآن ، وظائف تحليلية لها في كل نقطة قيمة وحيدة : إن مثل هذه الوظيفة تسمى وحيدة الشكل . وإذا تطابقت ، مع كل قيمة من قيم z عدة قيم من f(z) ، بعدد متناهٍ أو لا متناهٍ ، كما هو الحال بالنسبة إلى Z^m ، باعتبار m غير صحيح أو لوغاريتمz ، عندها يقال أن الوظيفة متعددة الأشكال . عندها نستعمل ، لتمثيل قيم z ، سطح ريمان Riemann ، المكون من وريقات مسطحة متراكمة أو كرة ريمان Riemann المكونة من وريقات كروية متراكمة .

نقاط فريدة ـ تسمى النقطة ، حيث تكون الوظيفة f(z) غير مونوجينية ، نقطة فريدة أساسية . إنّها معزولة ، ضمن دائرة صغيرة نوعاً ما مركزها هذه النقطة ، ولا توجد نقاط فريدة أخرى . وإلاّ فهي تنتمي إلى مجموعة من النقاط المفردة . إن هذه المجموعة تكون مغلقة لأنّه ، لكون النقطة المنتظمة محاطة بنقاط منتظمة ، فإن كل نقطة حد للنقاط المفردة ، تكون مفردة .

ووجود مجمل من النقاط المفردة يتناسب مع استمرارية الوظيفة . وقد بنى بومبيو D. Pompeiu وظيفة مستمرة تقبل بمجمل كامل غير مستمر من النقاط المفردة . إن النقاط المفردة قد تشكل خطوطاً ، تسمى خطوطاً مفردة ، أو مناطق تسمى فضاءات فجوية . إن حالة النقطة المفردة الأساسية المعزولة قد أفسحت المجال أمام مجمل ضخم من البحوث . وقد بين فايرستراس Weierstrass أنه ، في جوار مثل هذه النقطة ، تتخذ الوظيفة قيماً قريبةقدرما نشاء من أية قيمة . واكتشف بيكارد Emile Picard ، سنة 1879 ، قاعدة شهيرة كانت مصدر نتائج ضخمة ؛ في جوار

نقطة أساسية معزولة ، تتخذ الوظيفة عدداً لا يحد من المرات كل قيمة باستثناء قيمتين على الأكثر . أن تبيين بيكارد يرتكز على استعمال وظيفة تجاوزية هي الوظيفة النسقية . قدم بورل سنة 1896 تبييناً ذا صفة أولية . وإذاً قد توجد قيمة أو قيمتان ، لا تتخذهما الوظيفة حول النقطة الأساسية : فتسمى ذات « قيم استثنائية » . وقد اهتم أناستاسياديس Anastassiadis بتحديد شروط وجود قيمة استثنائية وبتحديد شروط حساب هذه القيمة في حالة الوظائف الكاملة من النوع المتناهي (1958) .

وقد وسع مونتل P. Montel قاعدة بيكارد فاشملها حالاتٍ أكثر عمومية . ان وجود قيمة استثنائية (a) يمكن أن يفسر بالواقعة أن المنحنى W = f (z) لا يلتقي المستقيم w = a . إن قاعدة Picard تفيد أنه ، حول نقطة أساسية ، هذا المنحنى يلتقي بالضرورة عدداً لا متناهياً من المرات نظاماً من ثلاثة متوازيات مستقيمة . وبيَّن مونتل Montel إن هذا النظام يمكن أن يستبدل بمكعبة أو بكل منحنٍ جبري ، فيه على الأقل ثلاثة فروع متمايزة ، وفي عهد أقرب تمّ إدخال عناصر جديدة استثنائية .

إذا انتهى منحنٍ ما بنقطة أساسية ، فقد يحدث أن تتخذ الوظيفة فوق هذا المنحني قيماً ذات حدٍ وحيدٍ . هذه القيمة تسمى القيمة المقاربة . أن كل قيمة استثنائية هي أيضاً مقاربة . أن القيم المقاربة قد درسها ألفورس L. Ahlfors ودنجوي A. Denjoy وفاليرون G. Valiron . إن قاعدة بيكارد ، في حالة الوظيفة المنتظمة في السطح ، تعادل استحالة المعادلة : P + Q + R = 0 باعتبار أن P, Q, R تدل على وظائف كاملة غير مزودة باصفار (بوريل E. Borel) .

وهناك أعمال مهمة ـ في الحالة العامة ، حالة المعادلة من نفس الطبيعة ، ذات مطلق عدد من الوظائف ـ تعزى إلى بلوك A. Bloch وهـ . كارتان H. Cartan .

إن العمليات المعتادة في الجبر وفي التحليل تحتفظ بالمونوجينية وبالتحليلية . وبشكل خاص بالتلاقي المتسق . لقد تمُّ درس الشروط التي تؤدي إلى هذا التلاقي : تلاقٍ في عدد غير محدود من النقاط في المجال أو عند تخمه .

إن التلاقي البسيط يؤدي إلى حدٍ أقصى تكون مناطق تحليليته كثيفة في كل مكان . وقد بيَّن لوبيغ H. Lebesgue إن كلّ وظيفة مستمرة من المتغير z يمكن الحصول عليها بفضل سلسلة مزدوجة من الوظائف التحليلية .

الوظائف الكاملة أو جزئية التشكل ـ إن حالة الوظيفة المحددة في كل السطح ، ولا تمتلك إلا نقطة أساسية واحدة قد درست بعمق . ويمكن الافتراض دائماً بأن النقطة الفريدة موجودة في اللانهاية ،وعندها نحصل على وظيفة جزئية التشكّل في كل السطح ، أو ـ إذا لم تقبل القطب ـ على وظيفة كاملة .

والوظيفة الكاملة يمكن تمثيلها في كل السطح بسلسلة كاملة من المتغير z . وفي الدائرة r ≥|z| ، يكون معيار هذه الوظيفة ذا ذروة M(r) تتزايد مع تزايد r .

وتكون الوظيفة الكاملة قابلة أيضاً للتمثيل بحصيلة لا محدودة كل عامل فيها يعطي صفراً عن الوظيفة . هذه الحصيلة تتيح ادخال مفهوم النوع . فالنوع قد يكون متناهياً أو لا متناهياً (فايرستراس Weierstrass) .

إن الوظيفة M (r) تؤدي إلى فكرة « النمو » التي تتعلق بالسرعة التي بها تقترب الوظيفة من اللانهاية ، هكذا أدخلت فكرة نظام النمو أو « نظام » الوظيفة الكاملة ، وهي فكرة توضح فكرة النوع . فالنظام قد يكون متناهياً أو غير متناهٍ . والأعمال الأساسية حول هذه الأفكار تعود إلى بوانكاريه وإلى هدامارد J. Hadamard وبوريل E. Borel وفاليرون G. Valiron وبلومنتال Blumenthal .

والوظيفة جزئية التشكّل في كل السطح تبدو وكأنها حصيلة وظيفتين كاملتين ، أو كنتيجة حاصلي ضرب لا متناهيين . إنّ مفاهيم النوع والنظام تمتد بسهولة لتشمل هذه الوظائف .

وهناك وظائف تحتوي على عدد محدد من النقاط الأساسية في السطح قد درست من قبل مايّيه Maillet ، وخاصة الوظائف المسماة « شبه كاملة » .

وإن نحن رتبنا بترتيب الضخامة غير المتنازلة معايير (r_n) أصفار الـ (f (z) – a) ، فدراسة سلاسل الحدّ العام ($1/ r_n^{\alpha}$) تقدم خدمات كبرى . وفي حالة وظيفة كاملة من عيار ρ ، تتلاقى السلسلة عند (α = ρ + ε) مهما كان العدد الايجابي ε صغيراً وتتفرّق عند (α = ρ – ε) ، ما عدا الحالة الي تكون فيها قيمة a وحيدة إذا كان ρ عدداً كاملاً . ويسمى العدد ρ مثقل التلاقي أو عامل التلاقي ؛ وهو واحد مهما كانت قيمة a ، باستثناء ـ ربما ـ حالةٍ تكون فيها قيمة a وحيدة تسمى قيمة بوريل Borel الاستثنائية . هذا المفهوم يوسع مفهوم قيمة بيكار Picard الاستثنائية . أن قاعدة بيكار وقاعدة بوريل تشكلان التوسيع الكامل لقاعدة دالمبير D'Alembert بالنسبة إلى متعدّدات الحدود ، هذه القاعدة التيتدل على أن متعدّد الحدود يتخذ كل قيمة متناهية وإن كل قيمة تتخذ عدداً من المرات يساوي درجة متعدّد الحدود .

إن نظرية الوظائف الكاملة جزئية التشكّل أصبحت أكثر عمقاً بفضل أعمال نيفانلينا R. Nevanlinna . فقد ادخل وظيفة مميزة (T(r)) تلعب بالنسبة إلى وظيفة كاملة نفس دور لوغاريتم M(r) ، وتبقى ، بالنسبة إلى وظيفة جزئية التشكّل ، متناهية ومتزايدة في حين أن M(r) تصبح لا متناهية . أن نتائج R. Nevanlinna تدل على وجود توازن بين معايير النقاط حيث f (z) تتخذ القيمة a والمعايير حيث f (z) تكون ذات قيمة قريبة من a ، بين كثافة نقاط بيكارد ومجموعة نقاط فايرستراس Weierstrass .

وهكذا دخل مفهوم « النقص » الذي يقيس بدقة نُدرة أصفار (f (z) - a) . والنقص يعادل واحداً ، بالنسبة إلى قيم بيكارد Picard الاستثنائية . وعلى العموم إنّ مجموع كل النواقص الممكنة لا يمكن أن يتجاوز (2) ، ومجموعة القيم التي يكون نقصها غير معدوم تكون متناهية أو قابلة للتعداد .

وهناك وظائف ذات عدد متناهٍ عشوائي من القيم الاستثنائية عند نيفانلينا Nevanlinna إلا أنّه ليس عدداً لا متناهياً .

لقد طوعت التعابير التي أدخلها نيفانلينا Nevanlinna باستبدال المسافة العامودية في السطح المعقد بالمسافة الكروية فوق كرة ريمان Riemann (باغاناس Baganas ودوفرينوا Dufresnoy) . ويرتبط الشكل الجديد بمساحة السطح المغطى فوق الكرة بصورة f (z) المتوافقة مع نقاط الدائرة $z = r$ (شيميزو Shimizu) . وعاد ألفورس L. Ahlfors إلى هذه الدراسة بفحص بنية سطح ريمان Riemann حول الكرة وسماه سطح التغطية : وهي نظرية ترتكز على أساس طوبولوجي مقرون بمقياس متري فيه تبدو نتائج R. Nevanlinna كحالات خاصة من حالات الفورس Ahlfors . وقد توضحت دراسة النمو بدراسة نظام النمو في زاوية أو فوق نصف خط مستقيم . ويؤدي هذا الخط إلى مشيرةٍ ترتبط بمضلّعات تجميعية بوريل Borel في وظيفة مقرونة مختارة بشكل مناسب .

إن هذه المسائل ترتبط بوجود قيم مقاربة . وليس من المعلوم إذا كان الحال كذلك بالنسبة إلى قيم نيفانلينا Nevanlinna .

وقد اطلق دنجوي A. Denjoy التأكيد بأن العدد الأقصى من القيم المقاربة ، في وظيفة من نوع p هو (2p + 1) وقد أثبت ألفورس L. Ahlfors هذا التأكيد .

وبالنسبة إلى وظيفة من مرتبة غير متناهية ، قد يكون مجمل القيم المقاربة لا متناهياً . فقد تكون له قوة المستمر وحتى قد يتضمن كل قيم السطح المعقد .

الأَسَرُ الطبيعية ـ إن دراسة جماعات الوظائف قد تتابعت منذ نصف قرن . المجموعة اللامتناهية من النقاط تقبل دائماً نقطة تراكم ، وهذه الخصوصية ، التي قرّرها كانتور Cantor ، هي في أساس تبيينات عدد خصائص وظائف النقاط . أن المجموعة اللامتناهية من الوظائف لا تقبل بالضرورة وظيفة تراكم : إن وجودها يسهل تبيينات الحساب الوظيفي الذي تتشكل عناصره من الخطوط والمساحات .

ومن أجل سد هذا الاحتياج أوجد مونتل Paul Montel سنة 1912 نظرية الأسر الطبيعية ، على أثر بحوث آرزيلا Arzela وأسكولي Ascoli حول الاستمرارية المتساوية ، وعلى أثر الدراسات المباشرة التي قام بها آرزيلا وهيلبرت Hilbert ولوبيغ Lebesgue حول مسائل ديريكليه Dirichlet وبلاتوه Plateau . إن هذه النظرية قد أوجدت من أجل الحصول على معايير تتيح التأكيد بأن كل متتابعة لا متناهية من وظائف عائلة ما ، تقبل وظيفة تراكم عن طريق التلاقي الوحيد الشكل : إن مثل هذه العائلة تسمى طبيعية . وقد بدت هذه النظرية خصبة خارج الحساب الوظيفي الذي أولدها لأن الوظائف في عائلة طبيعية تجمع بنوع من التضامن يترجم بخصائص مشتركة ، خاصة بالنسبة إلى وظائف المتغيرات المعقدة ، وانبثقت قواعد تحليل ـ مستخلصة من فرضيات خاصة ـ من الطبيعية وحدها حقاً .

والطبيعية Normalité هي خصوصية محلية . فإذا كان لها وجود في مجال ، فإن وجودها يكون حتماً في كل نقطة منه ، أي ضمن دائرة ضيقة تضم هذه النقطة داخلها وبالعكس . وإذاً ، إذا لم تكن عائلة طبيعية في مجال ما ، فإن هذا يتضمن نقاطاً لا وجود للعائلة الطبيعية فيها . مثل هذه النقطة ، تسمى غير منتظمة ، وتتسم بأنها نقطة مفردة جماعية . وقام أستروسكي M. Ostrowski بدراسة معمقة حول هذا كما درس تولّين Thullen وكارتان H. Cartan وجوليا G. Julia ومندلبرويت S. Mandelbrojt وساكسر W. Saxer بنية مجموعة هذه النقاط وعلاقاتها مع مجموعة النقاط المفردة في وظيفة وحيدة .

والعائلات الأولى التي درست كانت عائلات الوظائف المحدودة في مجملها ، الوظائف ذات الفضاءات أو الخُطوط الناقصة (الفجوية) ، وظائف ذات ثلاث قيم استثنائية . وهذه العائلة الأخيرة تمتلك خصائص كلاسيكية مرتكزة على قواعد بيكار ولاندو Landau وشوتكي Schottky والتي تشكل حلقة بيكار Picard . إنّ كل عائلة طبيعية من وظائف متغير معقد تولد حلقة مماثلة .

وتؤدي حلقة بيكار إلى تصنيف للوظائف التحليلية النظامية : وظائف بدون قيمة استثنائية ؛ وظائف تفترض قيمة استثنائية (الوظائف الهولومورفية) ؛ وظائف ذات قيمتين استثنائيتين (وظائف هولومورفية ذات لوغاريتم هولومورفي) ؛ وظائف ذات ثلاث قيم استثنائية ، تشكل عائلة طبيعية .

وبيَّن هس Hess إن كل عائلة من الوظائف النظامية هي مجموع عدد متناهٍ أو قابل للتعداد من العائلات الطبيعية .

واستعمل كاراتيودوري Carathéodory كرة ريمان ، وادخل الاستمرارية المتساوية الكروية « والتلاقي المستمر » وحصل مارتي F. Marty على معيار استمرارية وذلك بتحديد المشتق الكروي . واستبدل ب . مونتل القيم الاستثنائية بمنحنٍ جبري ذي ثلاث شعب متميزة ليس بينها أية نقطة مشتركة مع وظائف العائلة . واحلّ أيضاً محل الفضاء الناقص (الفجوي) تحديداً للسطح المغطى فوق كرة ريمان .

واهتمت مجموعة أخرى من البحوث بدور القيم الاستثنائية التي لوظيفة ولأحد مشتقاتها أو بمزيج من الوظيفة ومشتقاتها ، ومن هنا تستنتج ضوابط الطبيعية . وهذه البحوث تعود إلى بورو F. Bureau وإلى ميراندا Miranda وفاليرون Valiron وميّيوه Milloux وهيونغ Hiong وتشي تاي شوانغ Chi tai Chuang وهايمن W.K. Hayman .

وادخل مونتل أيضاً العائلات شبه الطبيعية من عيار p والتي تتضمن p من النقاط غير المنتظمة على الأكثر وبيَّن أن الوظائف الوحيدة القيمة أو المتعددة القيم من عيار محدودٍ تشكل مثل هذه العائلات . وكذلك الأمر بالنسبة إلى الوظائف الملاقية عدداً من المرات لكرة ريمان . ودرس و . ساكسر W. Saxer نقاطها غير المنتظمة . ومن بين التطبيقات الأولى للنظرية ، واحدة تتعلق بتلاقي سلسلة من وظائف العائلة التي تكون متسقة منذ أن تلتقي السلسلة في عدد لا متناهٍ من النقاط الداخلة تماماً في المجال . وهكذا نجد قواعد فيتالي Vitali لاندو وكاراتيودوري . ودرس

هارتوغس Hartogs وروزنتال مجموعة النقاط غير المنتظمة في التلاقي البسيط . وهناك تطبيق آخر يتعلق بالتكرار وأتاح الانتقال من الدراسة المحلية المعزوة بصورة رئيسية إلى كونيغس G. Kœnigs وإلى لو Leau إلى الدراسة الشاملة التي قام بها فاتو Fatou ولاتيس Latés وجوليا .

وأخيراً هناك تطبيق مهم أتاح براهين أصفار الوظائف كاملة أو جزئية التشكّل في السطح بواسطة طريق التجزئة التي قام بها مونتل والذي استبدل الوظيفة التي يجب درسها بسلسلة من الوظائف . وبيّن G. Julia وجود مستقيمات تراكم (J)بالنسبة إلى المستقيمات التي تجمع نقطة ثابتة مع أصفار الوظيفة . وبين أوستروسكي وجودها بالنسبة إلى كل وظيفة جزئية التشكّل غير بعض الوظائف من العيار العدم . وهناك أعمال أخرى قام بها ساكسر W. Saxer وبوليا G. Polya . ودرس بييرناكي Biernacki وجود المستقيمات (J) المشتركة بين وظيفة كاملة ، ومشتقاتها ومبتدئاتها . وحصل ميّيوه على نفس النتيجة فيما خصّ المستقيمات المماثلة عند بوريل ـ فاليرون .

إن العائلات الطبيعية للوظائف ذات المتغيرات الكثيرة المعقدة قد درست هي أيضاً . وقد مهدت السبيل لقيام قاعدة أساسية هي قاعدة كاكشيو بولي Cacciopoli وبموجبها تؤدّي « الطبيعية » بالنسبة لكل متغير إلى طبيعية مجمل هذه المتغيرات .

وأخيرا أدخل مونتل العائلات الطبيعية المعقدة التي تشكل عناصرها أنظمة من (p) وظيفة تحليلية ، مفيدة في دراسة الوظائف الجبروية algébroïdes . ومن بين الكتاب حول هذه البحوث يجب ذكر ريموندوس Remoundos ، وفارو بولوس Varopoulous وغرمانسكو Ghermanescu وبصورة خاصة بلوك A. Bloch وكارتان ودوفرنوا Dufresnoy وباغاناس N. Baganas .

تمثيل الوظائف التحليلية ـ أتاحت سلسلة Taylor تمثيل وظيفة تحليلية في كل من نقاطها المنتظمة غير القطب . ويلتقي النمو داخل حلقة التلاقي التي هي عموماً حلقة قطع كل نقاطها مفردة والتي يمكن ، في بعض الأحيان ، تفاديها كما بيّن ذلك بوريل . إنّ سلسلة لوران Laurent تقدم نفس الخدمة في حلقة دائرية .

إن تحديد النقاط المفردة فوق حلقة التلاقي قد درست من قبل ج . هدامارد وس. مندلبرويت . وقد اهتم هذا الأخير بالسلاسل ذات « البنية الفجوية » ، المتضمنة عدداً لا متناهياً من مجموعات المعاملات الباطلة . في مثل هذه الحالة حدثت الظاهرة « فوق التلاقي » ، أي أن سلسلة لا متناهية وجزئية مستخرجة من السلسلة تلتقي خارج دائرة التلاقي . وقد درست هذه الظاهرة من قبل بوريون Bourion وأوستروسكي وجنتش Jentzch وزيغو Szegö وكارلسون Carlson ، وبالنسبة إلى شروحات أخرى (سلامل فابر Faber والقدرات عند ديريكليه ، الخ) من قبل بوريون وبرنشتاين Vl. Bernstein ومارتان Y. Martin ولوشLösch .

إن معاملات سلسلة تايلور المتعلقة بنقطة تدخل قيم الوظيفة ومشتقاتها في هذه النقطة . واهتم غونتشاروف Gontcharoff بالحالة التي تكون فيها هذه القيم محددة في نقاط متجاورة تقبل لا نهائيتها نقطة تراكم . والتمثيل من خلال سلاسل متعدّدات الحدود كان موضوع العديد من

البحوث . وقد فحص دولانج H. Delange علاقات مجال التلاقي مع مجمل اصفار متعدّدات الحدود المستعملة . ويتوجب ذكر حالات سلاسل متعدّدات حدود فابر وتشيبيتشيف Tchebychev . والتمثيل بواسطة الكسور المستمرة ، وخاصة كسور ستيليجس أو سلاسل جاكوبي Jacobi ، كان موضوع بحوث من قبل فان فليك Van Vleck وبرنغشاين Pringshein وبيرون Perron ، الخ .

ودرس بانلفيه Painlevé تمثيل الوظائف في المجالات التي تمتلك خطوطاً فريدة لاتجزىء السطح بواسطة سلاسل واعطى بوانكاريه التمثيلات التحليلية للوظائف ذات الفضاءات الفجوية .

وهناك تمثيل آخر مهم للوظائف التحليلية تقدمه سلسلة ديريكليه Dirichlet من الشكل $\sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-\lambda_n s}$ وتمثل λ_n عدداً حقيقياً و a_n معاملاً حقيقياً أو معقداً و s يمثل المتغير . وتعطي الحالة $\lambda_n = n$ سلسلة تايلور ، مع تغيير المتغير $z = e^{-s}$. وتعطي الحالة $\lambda_n = \log n$ و $a_n = 1$ الوظيفة $\zeta(s)$ المنسوبة إلى ريمان . إن مجال التلاقي هو نصف سطح محدود ، إلى اليسار ، بمستقيم موازٍ للمحور الخيالي للإحداثيات والذي يسمى مستقيم التلاقي . ونميّز مستقيم التلاقي المتسق ، ومستقيم التلاقي المطلق ، ومستقيم الهولومورفيه . وتبدو ظاهرة فوق التلاقي هنا تحت مظاهر متنوعة . إنّ سلسلة ديريكليه ، التي تشارك بسلسلة فورييه Fourier وبسلسلة تايلور ، قد درست من قبل هدامارد وماندلبرويت ولاندو وبور H. Bohr وأوستروسكي وبرنشتاين وبوليا Polya .

وفي سنة 1942 ادخل ماندلبرويت Mandelbrojt ، على سلاسل ديريكليه المتنافرة مفهوم « التلاحم » المرتبط بالانحراف الأقصى في نصف السطح على يمين السينية x ، أي على ذروة المعيار الأقصى للفرق بين الوظيفة ومجموع الحدود الأولى (n) من السلسلة عندما يتغير (n) من 1 حتى $+\infty$. أن هذا المفهوم الذي قدم خدمات كبرى في العديد من النظريات ، قد استعمله كل من شوارتز L. Schwartz وتوران Turan و Sunyer i Balanguer .

إن الحالة التي تكون فيها مثقلات λ_n ذات قيم معقّدة قد درست من قبل ليونتييف Leontiev وكابان Kabane وأغمون Agmon .

العائلات الخاصة بالوظائف ـ إن دراسة مجموعات الوظائف التحليلية أدت إلى تجميعها ضمن عائلات تجمعها خصائص مشتركة وإلى استخلاص نتائج هذا التضامن .

ومن بين هذه الخصائص تلعب « وحدة القدرة » أو « تعددها » ضمن نظام معين ، دوراً مهماً . وقد تمّ أيضاً إدخال الامتداد وشكل المجال (D) المغطى بقيم الوظيفة f (z) ، هذا المجال الذي يمكن أن يكون مقعراً أو نجومياً ، أو حلزونياً . إن الوظائف الوحيدة القدرة ، في مجال ما ، تشكل عائلة شبه طبيعية من معيار رقم 1 . وتشكل الوظائف « المتعددة القدرة » من معيار p ، أسرة شبه طبيعية من معيار p (ب . مونتل) .

وقد درست طويلاً ، عائلة (F) الوظائف f (z) الهولومورفية في الدائرة ـ الوحدة حيث $f(0) = 0$ و $f'(0) = 1$ أي الوظائف ذات النحو الذي يبدأ بالحد z بحسب تايلور حول نقطة الأصل . وكانت

حالة متعدّدات حدود هذه العائلة موضوع بحـوث ديودونيـه Dieudonné وروغوزنسكي Rogosinski وزيغو Szegö وبيرناكي Biernacki وكاكيا Kakeya .

أما معيار التوحيد فهو شعاع الدائرة الأكبر الممتد في (D) أي الحاصل بالتمثيل المتوافق في منطقة من الدائرة الوحدة . ووضع أ . بلوك A. Bloch هذا الحكم المهم ، وهـو أنه ، بـالنسبة إلى وظيفة من العائلة F ، يكون لهذا المعيار حدّ أدنى ايجابي يسمى « ثابتة Bloch » وأما قيمتـه الحقة فغير معروفة . هذه القاعدة تتيح تبييناً بسيطاً لقاعدة بيكار Picard . وتابع فـاليرون هـذه الدراسـة . أما التوسع الذي طال الوظائف المتعددة القـدرة (p-valentes) فيعود الفضـل فيه إلى فيكيت Fekete وإلى مونتل .

وتغطي الوظيفة الوحيدة القدرة من F ، دائرة ثابتة ذات مركز أصل . ان الحدود الدنيا والعليا لِـ : سعـة f'(z) و |f'(z)| و |f(z)| ، هي وظائف معـروفة تبعـاً لـ z، (Faber ، بيبرباخ Bieberbach ، نيفانلينا وكوب Koebe وكوسلر Kössler وفيجير Fejer ورايز F. Riesz وأسترومسكي) . إن معامل z^2 له معيار أقل أو مساوٍ لـ 2 ؛ ومعامل z^3 له معيار أقل أو مساوٍ لـ 3(K. Löwner) ؛ ومعامل z^4 لـه معيار أقل أو مساوٍ لـ 4 (غارابديان ـ شيفر Garabedian – Schiffer) . ويستنتج أن معامل z^n له معيـار أقل أو مسـاوٍ لـ n ، ولكن لـم يمكن اثباتـه إلا في حالات خـاصة (نيفـانلينـا وديـودونيـه وروغـوزنسكي وهايمن وسباسك Spacek) . أما شعاع الدائـرة الأكبر المغـطاة فقد بحث بـه راينهارت Reinhardt ولاندو . وأما الوظائف جزئية التشكّـل ، فهناك خيـار بين داخل الحلقـة وخارج الحلقـة المشتركـة (مونتل ، مارتي وبيبرباخ) .

وتوجد بؤرة احديداب أي دائرة ذات مركز أصل ممثل ، فوق مجال محدودب ؛ كمـا يوجـد « بؤرة تنجم » و « بؤرة مجال ، حلزونية » . هذه البؤر حددتها أعمال فابر وبيبرباخ ومارتي وماركس وغـروك وزيغو وسبـاسك وديـودونيه . وقـد درست بؤرة « القـدرة الـواحـدة » العـائـدة للوظـائف F المحدودة ، وبؤرة التنجم وبؤر القدرات المتعددة في نظام معين (لاندو ، ديودونيـه) وبؤرة القدرة الـواحـدة حيث $f(0) = a_0$ و $f'(0) = a_1$. ودرست الأنـظمـة ذات القـدرات الـواحـدة من وظـائف المتغيرات المتعددة من قبل كارتان وتولن P. Thullen .

الدورية ـ كانت الوظائف الدورية ، بشكل بسيط أو مزدوج ، في القرن المـاضي ، موضـوع أعمال ضخمة اقترنت بها اسماء آبيل Abel وجاكوبي وفايرستراس وبوانكاريه .

أما قاعدة جاكوبي حول استحالة وجـود وظيفة تحليليـة تمتلك ثلاثـة أدوار مستقلة فقد وسعت من قبل P. Montel باستبدال الغاء الفرق الأول الذي يترجم الدورية ، بالغـاء فرق الـترتيب الأعلى من الوحدة ، ثمّ عند دراسة حالة وظيفة ذات عدة متغيرات : عندها نحصل على متعددات حدود . إن حالة المتغيرات الحقيقية قد درست أيضاً من قبل انغلوتا Anghelota وبوبوفيسي T. Popovici .

إنّ الوظائف جزئية التشكّل في السطح ـ والمزدوجة الـدورية أو « الـوظائف الاهليلجيـة » [= الناقصة] ، وتـرتيبـها هو ترتيب تعدد قدراتها ضمن متوازي أضـلاع الأدوار ـ تلعب دوراً أساسياً

في تنسيق العلاقات الجبرية من النوع واحد .

وهي تمتلك قاعدة جمع جبري ، أي أن قيم الوظيفة المتوافقة مع ثلاث قيم من قيم المتغير احدها هي مجموع الاثنتين الآخريين ، ترتبط بعلاقة جبرية حاصلة بمعادلة متعدّد الحدود المتشكل من ثلاث قيم تمثل المتغيرات ، بالصفر . وبالمقابل ، إن وجود مثل هذه العلاقة يميز اما وظيفة جبرية واما وظيفة جبرية للأسّ ، واما وظيفة اهليلجية .

وقد أشمِلَتْ هذه النتيجة وظائف المتغير الحقيقي من قبل P. Montel وكذلك الحالة التي تكون فيها القيم الثلاث قيم ثلاث وظائف مختلفة ، وذلك من قبل بروها F. Bruhat وكارتان ومينيو R. Meynieux .

لم تفقد تطبيقات الوظائف الاهليلجية على نظرية الاعداد وعلى الجيومتريا ، وعلى الميكانيك شيئاً من أهميتها .

وتم اكتشاف تعميم ابداعي للوظائف المزدوجة الدورية من قبل Poincaré وذلك بإنشاء الوظائف الفوشية والكلينية [نسبة إلى كل من فوش Fuchs وكلين Klein] المسماة أيضاً الوظائف التشاكلية الذاتية (1881) . إن الانتقالات المتطابقة مع الدورات قد استبدلت بالتغيرات التي تعزى إلى وظائف هوموغرافية ذات معاملات ثابتة وتشكل مجموعة مثل الانتقالات . إن متوازي الأضلاع الأساسي المتكون من الدورتين يصبح مضلّعاً محدداً بأقواس دوائر .

وتقدم الوظائف التشاكلية الذاتية ، بالنسبة إلى العلاقات الجبرية المتكونة من متغيرين من نوع يفوق « واحداً » ، نفس الخدمة التي تقدمها الوظائف الجذرية في حالة نوع الصفر (0) والوظائف الاهليلجية في حالة النوع « واحد » . وهي تتيح توحيد هذه الوظائف ، أي التمثيل البارامتري (الوسيطي) لكل متغير بواسطة وظيفة موحدة تشاكلية ذاتية . وهكذا نحصل على مزدوج من الوظائف الموحدة الشكل ، ودرس بيكارد ثم مونتل هذه المزدوجات من الوظائف وحدّا من شعاع انتظاميتها .

إن الوظائف التشاكلية الذاتية قد كانت موضوع العديد من الأعمال خاصة أعمال فاتوه P. Fatou وجيروه G. Giraud ومايربرغ P. J. Myrberg الذي اهتم أيضاً بالوظائف التشاكلية الذاتية لعدة متغيرات . وفي عهد أقرب ، درست هذه الوظائف الأخيرة بعمق من قبل سيغل C. L. Siegel ومدرسته (كوشر Köcher وساتاك Satake وبايلي Baily) بالاشتراك مع النظرية الحديثة حول المجموعات الكلاسيكية . وأوجد بيكارد وهامبرت G. Humbert الوظائف فوق الآبيلية [Abel] وفوق الفوشية .

ومن بين الاستبدالات التي تجري في الوظائف التشاكلية الذاتية ترتسم القوى (Puissances) الكاملة لكل وظيفة هوموغرافية أساسية . وإن أبدلنا هذه الوظيفة الهوموغرافية بكسر جذري ذي درجة أعلى من الأول نحصل على تكرار (itération) عام . إن حالة الكسور الجذرية ذات الحدود المتداخلة والتي أصفارها وأقطابها حقيقية ومتشابكة ، لها خصائص قريبة من خصائص الوظيفة الهوموغرافية . وقد تمّ أيضاً فحص الحالة التي تكون فيها الوظيفة الأساسية وظيفة كاملة أو وظيفة

محددة ضمن نصف السطح الأعلى والتي تنتمي قيمها إلى هذا السطح النصفي .

ودرس التكرار من وجهة نظر محلية من قبل كونيغس ولو Leau وغريفي Grévy ومن وجهة نظر شاملة ، بناء على مبادرة ب . فاتو ، من قبل جوليا ولاتيس ومايربرغ . وهناك توسع آخر في الوظائف الدورية قد اكتشف من قبل بور H. Bohr : الوظائف شبه الدورية .

فبالنسبة إلى الوظيفة الدورية للمتغير الحقيقي وذات الدور w ، كل قسم من المحور الحقيقي ذو طول أعلى أو مساوٍ لـ w يتضمن على الأقل دوراً واحداً ؛ وبالنسبة إلى وظيفة شبه دورية ، يتوافق مع كل عدد مهما صغر ، طول يتعلق به ، وبحيث أن كل قسم من هذا الطول يتضمن شبه دور ، أي أن قيمتي الوظيفة في نقطتين نبلغ المسافة بينهما « شبه دور » ، دون أن تتساوى هاتين القيمتين ، تختلفان بـ ε على الأكثر .

إن مثل هذه الوظيفة تتمثل بسلسلة Fourier ، المؤلفة من وظائف تريغونومترية أو من أسّيات (Exponentielles) . وإذا اختزلت السلسلة إلى عدد محدد من الحدود ، فهناك الوظائف شبه الدورية التي درسها بول P. Bohl واسكلانيون E. Esclangon . وهناك أعمال أخرى تعزى ، بشكل خاص فيما خص الوظائف المزدوجة شبه الدورية ، إلى جنسن Jensen وتورنهاف H. Tornehave وبترسون R. Petersen .

إن السلاسل التي يكون حدها العام أسّاً ذا مثقل خطي ، بالنسبة إلى المتغير الحقيقي أو المعقد هي سلاسل ديريكلي التي سبق ذكرها . ودراسة هذه السلاسل تعود في بدايتها إلى إحداها التي تعرّف الوظيفة ζ(s) الريمانية (نسبة إلى ريمان Riemann) التي تلعب دوراً مهماً في فحص توزيع الأعداد الأولى . وقد أفسحت المجال أمام العديد من الأعمال المتلاحقة بصورة خاصة في اتجاهين : اتجاه علاقاتها بالوظائف شبه الدورية ، واتجاه شروط الالتقاء وطبيعة الوظيفة الممثلة .

الوظائف المتعددة الأشكال ـ إن نظرية الوظائف المتعددة الأشكال قد كانت ، في القرن الماضي ، موضوع العديد من الدراسات المهمة التي قام بها آبيل وجاكوبي وريمان وحديثاً بوانكاريه وبيكارد .

ومنذ بداية هذا القرن ، أفسحت دراسة سطوح ريمان ، المبتكرة من أجل توحيد الوظائف المتعددة الأشكال ومتكاملاتها ، في المجال لقيام بحوث قوية ومثمرة . وتعود مختلف هذه الخصائص في هذه السطوح إلى الطوبولوجيا ، وهي خصائص نوعية تجرُّ وراءها صفاتٍ معينةً للوظائف التي تتطابق معها ، مقررة بذلك الأساس الطوبولوجي للوظائف التحليلية . ان نفس مفهوم سطح ريمان قد تحدد بدقة ، وبكل عمومية بواسطة الفضاءات التجريدية والمنوعات الطوبولوجية ، بفضل أعمال هيل H. Heyl ورادو T. Rado وبروور J. Brouwer .

ووجود الوظائف المتطابقة مع سطح ريمان معيّن كان قد درس من قبل كوران Courant و فاتو . والبحث في أنماط السطوح المتميزة طوبولوجياً ، ثم تصنيفها قد تمَّ من قبل جوردان

C. Jordan وكيركيارتو B. de Kerekjarto . وهناك أعمال مهمة وإجمالية تعزى إلى ستويلوف S. Stoilow الذي أدخل مفهوم التحول الداخلي ، وإلى ألفورس باستعمال سطوح التغطية ، وإلى لافرنتيف Lavrentiev مع الوظائف شبه التحليلية . وهكذا تم ، بدقة ، فحص الانتقال من النظرية الطوبولوجية إلى النظرية الكلاسيكية المتعلقة بالوظائف التحليلية . وحديثاً هناك دراسة أكثر تعمقاً لأنماط سطوح ريمان ، ذات علاقة بنظرية الوظائف الهرمونيكية ، قد درست خاصة من قبل نيفانلينا وألفورس وساريو L. Sario والعديد من الرياضيين اليابانيين .

ومن بين الطبقات الخاصة للوظائف التحليلية ، كانت الوظائف الجبرية خلف أعمال ضخمة . إنها وظائف مرتبطة بالمتغير بفضل المعادلة الحاصلة من جراء تصفير (مساواته بالصفر) بولينوم متعدّد حدود ذي متغيرين . وقد التقيناها عند درس الوظائف الاهليليجية أو التشاكلية الذاتية (الأوتومورفيه) . وقد بدأت دراستها المباشرة مع بويزو Puiseux وهرميت Hermite واستكملها ابيل P. Appell وتانيري J. Tannery ومولك J. Molk وكوزن Cousin .

وفي معادلة وظيفة جبرية ، تشكل معاملات مختلف قوى الوظيفة متعدّدات حدود المتغير . وفي الحالة التي تكون فيها هذه وظائف تجاوزية أو منتظمة في مجال تعريف الوظيفة ، تسمى هذه الأخيرة جبروية [algébroïde] بوانكاريه ورتبتها هي درجة متعدّد الحدود بالنسبة إلى الوظيفة .

وقد اشمل Painlevé و Remoundos الجبرويات قاعدة Picard حول القيم الاستثنائية : فالجبروية من مرتبة m يمكن أن تقبل على الأكثر 2m قيماً استثنائية . وإذا لاحظنا أن قيمة استثنائية تعرف تركيبة استثنائية من معاملات المعادلة ، أي تركيبة خطية غير باطلة وذات معاملات ثابتة ، نرى أن هذه المسألة مرتبطة تماماً بنظرية التركيبات الاستثنائية وبالعائلات المعقدة التي قال بها مونتل .

واستعمل دوفرنوا J. Dufresnoy المسافة الكروية في الفضاء الإسقاطي ، وقرر طبيعية (اعتيادية) العائلات المعقدة من مرتبة m والقابلة لـ 1+ 2m من التركيبات الاستثنائية . وأدخل باغاناس ، مع تعريف جديد للمسافة ، التركيبات الخطية للوظائف الجبرية ، وأضاف إلى القيم الاستثنائية نقاط الالتقاء مع منحنٍ جبري يمتلك (2m + 1) من الفروع المتميزة .

وهناك وجهة نظر أخرى متعلقة بدراسة وظائف المتغير المعقد تعزى إلى بانلفيه . وتتشابه الوظائف في مناطق الانتظام ؛ وهي تختلف وتتمايز ، مثل الكائنات الحية ، بفراداتها . واتخذ بانلفيه كنقطة انطلاق معادلة تفاضلية متحققة بالوظيفة التحليلية والزم نفسه بأن يحدد النقاط الدقيقة الحساسة ، الثابتة أوالمتحركة ، في حلول هذه المعادلة . وانطلاقاً من الخلية الأساس المحددة بالقيم عند نقطة أساسية في الوظيفة ، وفي عدد كاف من مشتقاتها ، أعاد تكوين الكائن الرياضي بكامله الذي أوجده انتشار الخلايا بفضل امتدادها التحليلي .

وظائف عدة متغيرات ـ قدمت دراسة وظائف عدة متغيرات معقدة للرياضيين صعوبات جديدة والمماثلة مع حالة متغير واحد بدت خداعة في أغلب الأحيان .

إن الدراسة العامة وتوسع الأفكار الرئيسية عند كوشي وتوسع المتكاملة ، والبقية ، قد بدىء بها منذ 1888 من قبل بوانكاريه وبيكارد . في سنة 1897 بيّن هورفيتز Hurwitz أن أية نقطة لا يمكن عزلها . وسرعان ما تكاثرت البحوث مع فاليرون وأوزغود Osgood وليفي ـ سيفيتا Levi – Civita وهارتوغس Hartogs و إ . إ . ليفي E. E. Levi وكيستلر Kistler وبنكه Behnke في العقد الأول من القرن ، متبوعين في العقد الثاني بـ رينهارت Reinhardt وآلمن B. Almen وبلاشكه Blaschke ، وفي العقد الثالث بـ هـ . كارتان وبرغمان Bergmann وفلكه Welke و كاراتيودوري وسيغر Segre و تولن وسيفيري Severi وايزنهارت Eisenhardt وكومرل Kommerell وكفيتنيسكي Kwietniewski . إن الدراسة الجماعية للوظائف قد أثارت بحوث كاراتيودوري وكاكشيوبولي . Cacciopoli

وتميز مجالات الهولومورفية قد أثار بحوث بنكه و كارتان و تولن وأوكا K. Oka ولولونغ Lelong . ودرست مسألة كوزن حول تحديد الوظيفة بواسطة تعدد أقطابها من قبل فيل A. Weil و أوكا . وفحص البنيات واستعمال الطرق الطوبولوجية أديا ، بشكل خاص ، إلى أعمال كارتان وسير Serre وشتاين K. Stein وغراورت Grauert وريمرت Remmert .

إن نظرية الوظائف الجبرية ذات المتغيرات المتعددة قد فتحت المجال أمام أعمال العديد من الباحثين الذين كان أولهم بيكارد وهمبرتG. Humbert و كوزن وأخيراً كاستلنويفو Castelnuovo وانريكس F. Enriques و سيغر وسيفري F. Severi في إيطاليا ، ول . غودو L. Godeaux في بلجيكا وغارنيه R. Garnier وهـ . دولاك H. H. Dulac في فرنسا .

وهكذا أدى تقدم نظرية وظائف المتغيرات المعقدة اثناء هذا القرن إلى دراسة معمقة لتوزيع ولطبيعة فرائدها ، وإلى توزيع قيمها المنتظمة وصور تمثيلها ، وإلى تجميعها ضمن عائلات توحدها ميزات مشتركة .

هذا التطور المستقل ذاتياً كان نوعاً ما ضخماً بحيث اقتضى تجميع محاضرين متخصصين وانشاء منشورات « مجموعة المونوغرافيات حول نظرية الوظائف » لـ إ . بوريل .

الفصل الخامس

المعادلات التفاضلية والمعادلات ذات المشتقات الجزئية

في نظرية المعادلات التفاضلية وفي نظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، ظهر بروز علمين « شبه متميزين » : تحليل المتغيرات الحقيقية وتحليل المتغيرات المعقدة . ويمكننا تمييز وجهات نظرهما واستيضاح تساندهما المتبادل بصورة أفضل .

I ـ المعادلات التفاضلية

النظرية التحليلية ـ تبدو نظرية المعادلات التفاضلية في المجال المعقد وكأنها التتمة الطبيعة للنظرية الكبرى التي وضعها في القرن التاسع عشر كوشي وفايرستراس وتلاميذهما.

إن عبقرية بوانكاريه هي التي وسعت ، في البداية ، بشكل ضخم ، حقل تحليل المتغيرات المعقدة وذلك بإنشاء الوظائف الفوشية (Fuchs) أو ذاتية التشكيل (راجع الفصل السابق) : بفضل هذه الوظائف أمكن اعتبار مسألة دمج المعادلات التفاضلية الخطية ذات المعاملات الجبرية محلولة .

إن الدراسة العامة لفرائد الوظائف التحليلية حملت فيما بعد بانلفيه على إلى ادخال تحسينات ضخمة على كامل النظرية : فمنذ 1887 ، قرر هذه الواقعة الأساسية : إنّ الفرائد المتحركة (أي المتعلقة بثابتة تكامل أو حلّ) في المعادلات التفاضلية الجبرية من الدرجة الأولى لا يمكن أن تكون إلا جبرية ؛ وبالعكس تبين أمثلة بسيطة جداً أن المعادلة التفاضلية الجبرية من الدرجة الثانية يمكن أن تكون ذات نقاط فريدة تجاوزية متحركة (وتستطيع هذه النقاط انطلاقاً من الرتبة الثانية تشكيل خطوط) . وضمن سلسلة من الأعمال الباهرة ، أسس بانلفيه النظرية التحليلية في المعادلات التفاضلية ، وحصل بشكل خاص على معادلات تفاضلية جبرية من المرتبة الثانية تحل بواسطة متجاوزات جديدة أساساً . نذكر فقط المعادلة الشهيرة : $y''=6y^2+x$ ومتكاملتها العامة هي متجاوزة جزئية التشكّل ، لا تُرَدُّ إلى وظائفها المعروفة سابقاً .

إن العمل الذي قام به بانلفيه قد استكمله بشكل خاص بوترو P. Boutroux (تزايد الحلول حتى اللانهاية) ، وغامبييه B. Gambier (تشكل بعض المعادلات من المرتبة الثانية وذات النقط الحساسة الثابتة) وشازي J. Chazy (معادلات من الدرجة الثالثة فما فوق) و ر. غارنييه (الأنظمة التفاضلية من المرتبة المزدوجة ذات النقط الحساسة الثابتة) ثم مالمكويست Malmquist وبوليا Polya و فاليرون. وتلعب المعادلات ذات النقاط الحساسة الثابتة دوراً مهماً في البحث عن المتكاملات الأولى في الأنظمة التفاضلية . وهكذا استطاع بانلفيه أن يوضح النتائج الحاصلة سابقاً على يد بوانكاريه حول النظام التفاضلي الذي تؤدّي إليه مسألة الميكانيك السماوي ذي العدد (n) من الأجسام : ان الشروط اللازمة لكي يلتقي جسمان على الأقل من عدد (n) من الأجسام في نهاية فترة زمنية محددة لا يمكن أن تترجم بعلاقات تبدو فيها السرعات بصورة جبرية .

وقد سعى فلكيو القرن التاسع عشر إلى تمثيل حل مسألة الأجسام الثلاثة بواسطة شروحات بشكل سلاسل تريغونومترية ، كان بوانكاريه قد بين « اختلافها » . في سنة 1912 حصل الفلكي ساندمان Sundman على الحل العام « الكمي » للمسألة وذلك بأن عبّر عن الإحداثيات التسع الديكارتية (نسبة إلى Descartes) والزمن بحسب الوظائف الهولومورفية للمتغير ، وذلك ضمن شرط بسيط جداً : إن التعبيرات التحليلية تتيح حتى ، في حالة التقاء جسمين ، تحديد امتداد تحليلي للحركة . وقد كانت هذه المسائل ، حديثاً ، موضوع أعمال مهمة من قبل سيغل .

واشتغل بانلفيه على هذا النوع من المسائل باتجاه آخر ، فاستطاع أن يتوصل إلى طبقات واسعة جداً ذات معادلات تفاضلية تحليلية تتضمن ، ضمن الحقل الحقيقي ، تكاملاً كمّياً حقاً . وقد وجد أن غالبية هذه النتائج يمكن أن تمتد بطريقة كوشي - ليبشيتز إلى أنظمة غير تحليلية . ومن المهم أن نلاحظ بهذا الشأن ، إن الدراسة المسبقة المعمقة للحالة التحليلية هي التي استطاعت جذب الانتباه إلى بعض الفرائد المهمة التي غابت حتى ذلك الحين عن الجيومتريين .

إن الشروحات المفارقة ، التي أبرزها بوانكاريه (بمناسبة المسائل الأساسية في الميكانيك السماوي ، وبصورة أعم في الديناميك التحليلي ، مثل المعادلة البسيطة : $x'' + k^2 x = \mu f(x, t)$ حيث f هي دورية عند t ، و k ثابتة و μ مقياس (بارامتر) صغير) قادته إلى التثبت من مفهوم « التطور التماسي » . فكتب (باعتبار $t \to +\infty$) :

$$f(t) \sim c_0 + c_1 t^{-1} + \dots + c_n t^{-n} + \dots$$

وذلك إذا كانت : (باعتبار $t \to +\infty$) :

$$t^k (f(t) - c_0 - c_1 t^{-1} - \dots - c_k t^{-k}) \to 0$$

مهما كان العدد الصحيح الإيجابي k .

إن هذا المفهوم بدا فيما بعد مفيداً جداً في دراسة المعادلات التفاضلية الخطية ذات المعاملات التحليلية ودراسة فرائدها .

المتغيرات الحقيقية ـ مهما كانت أهمية النظرية التحليلية في المعادلات التفاضلية ، فإنها تبدو غير كافية ، وبشكل من الأشكال ، فهي لا تجيب على المسائل الأكثر الحاحاً والتي يمكن طرحها . في المعادلة $dy/dx = f(x, y)$ ان الوظيفة f المعطية المؤلفة من متغيّرين حقيقيين x,y ، تُفترض ببساطة مستمرة في مجال يضم النقطة (x_0, y_0) ، أفلا يمكن تبيين وجود حلول تتخذ فيها x_0 قيمة y_0 ؟ هذا ما حققه بيانو Peano وأرزيلا (1890) ، مستعملين بصورة مباشرة الخطوط المضلّعة عند كوشي ، وما حققه بعدهما مونتل (1907) . هناك على العموم عدة حلول . وإن اضفنا شرطاً بسيطاً مثل شرط Lipschitz فالتوحيد قد تم .

إن طريقة التكرار التي قال بها بيكارد (1890) أو طريقة التقريبات المتتالية ، قد قدمت هي أيضاً خدمات جلّى في هذا المجال حيث يفترض أساساً أن المتغيرات هي حقيقية ، وحيث لا تطرح إلا فرضيات عامة حول الاستمرارية والاشتقاقية بالنسبة إلى الوظائف التي تستعمل .

إن كل هذه الطرق تهدف إلى الحلّ الكمي ، وبحكم طبيعة الأشياء ، يصبح تطبيقها معقداً منذ محاولة العمل على توسيع المجال الذي فيه تدرس الوظائف المبحوث عنها . ان بوانكاريه هو الذي كان أول من باشر (1880 - 1885) في الدراسة العامة النوعية للمنحنيات الحلول ، في كل مجال وجودها ، وهي مسألة سبق أن بانت صعوبتها ، عند الاكتفاء بالمعادلة $dy/dx = f(x, y)$ (1) حيث f هي وظيفة جذرية حقيقية معينة ، للمتغيّرتين الحقيقيتين x, y . فقد صنف أول الأمر الفرائد المعتادة : أطواق ، عقد ، بؤر أو حتى مراكز . ووضع علاقة بين عدد هذه النقاط ، وهي علاقة تماثل جداً العلاقة الموجودة بين عدد الأضلاع (arêtes) والرؤوس والوجوه في المجسّم(البولييدر) ؛ علاقة من شأنها عند الانتقال إلى المعادلات الجبرية العامة $F(x,y,y') = 0$ أن تدخل أيضاً سمة من سمات جيومترية الوضع (في نظر بوانكاريه : «Analysis situs» ، وطوبولوجيا في التعبير الحالي) ، هي « نوع » بعض السطوح . وفي حالة المعادلة (1) بيّن أهمية المنحنيات ـ الحلول المغلقة أو الدورات ، في حين تلتف المنحنيات ـ الحلول الأخرى (باستثناء تلك التي تنتهي إلى نقاط فريدة) حول « الدورات الحدود » بشكل حلزوني ، وبقول آخر حلول دورية مقرونة « بحلول تقاربية » .

هنا يمكن أن نرى نواة الاهتمام الذي أبداه بوانكاريه دائماً للبحث عن حلول دورية ، وهذا مثلاً ، بالنسبة إلى مسألة الأجسام الثلاثة (والتي تعرض تقريباً كل صعوبات المسألة العامة المتعلقة بالمعادلات التفاضلية) .

بهذا النوع من الأفكار ترتبط مذكرة ج. هادامارد (1898) حول جيوديزيات السطوح ذات المنحنيات المتقابلة ، حيث يبرز دور الشروط الطوبولوجية العامة وأهمية الجيوديزيات المغلقة .

وهناك اهتمام خاص يتعلق بالنوع 1 (القالب الطوقي) . وقد يحدث أن لا تكون هناك نقطة فريدة في المعادلة التفاضلية . نفترض وجود المعادلة $dy/dx = f(x, y)$ حيث تقبل f الحقبة 2π ، سواء بالنسبة إلى x أم بالنسبة إلى y ، ونفترض أن هذه الوظيفة هي دائماً محددة بحيث يتغير طول المنحنى ـ الحل x ، دائماً بنفس الاتجاه . وإذا اقتصرت f على الثابتة a ، فهناك حالتان تعرضان ،

بحسب ما إذا كان a جذرياً أم غير جذري : في الحالة الأولى ينغلق كل منحنٍ ـ حلٍ ، وفي الحالة الثانية لا ينغلق المنحنى على الإطلاق ، ولكنه ينتهي بالمرور بأكثر ما يكون من القرب من أية نقطة . والآن إن افترضنا f تحليلية (أو حتى اشتقاقية بسيطة) ، تساءل بوانكاريه Poincaré ، « هل أن النتائج المتتالية » لنقطة انطلاق ، يمكن أن تشكل « مجموعة كاملة وغير مستمرة » . وسنداً لتبيين موفق قدمه أ. دنجوي (1932) لا يكون هذا الترتيب ممكناً ؛ ويكون ممكناً بالنسبة إلى بعض الوظائف (f) الاستثنائية جداً التي لا تحتوي على خصائص الانتظام المطلوبة .

وقد توصل بوانكاريه في أواخر حياته ، عن طريق بحث الحلول الدورية لمسألة الأجسام الثلاثة ، إلى مسألة خاصة في الطوبولوجية : إن امتلكنا حلاً دورياً « مثقلاه المميزان » خياليان اطلاقاً ، يمكن منه استخلاص عدد لا متناوٍ من الحلول الأخرى الدورية ، ولكن هذا يتم فقط مع الاحتفاظ بصحة قاعدة ما متعلقة بالتغيرات النقاطيةponctuelles ، ذات الثابت المتكامل الإيجابي ، في تاج دائري بذاته . والبيان الذي كان بوانكاريه يتمناه تمّ تقديمه ، بعد ذلك بقليل من الأشهر ، من قبل بيركوف G. D. Birkhoff (1913) . وقد طور هذا الأخير ومدرسته فيما بعد هذه المسائل ضمن النظرية العامة المتعلقة « بالأنظمة الديناميكية » .

وانطلاقاً من سنة 1920 تقريباً جذبت المعادلة التفاضلية $x''+x'f(x)+k^2x=0$ (أو $(vdv+\ \ (vf(x)+k^2x)dx=0)$ انتباه جمهور واسع حول مسألة « دورات » Poincaré وحول مسألة مجاورة : « تأرجحات الاسترخاء » وكانت موضوع العديد من الدراسات (فان در بول إ . وهـ . كارتان وليينارد Liénard واندرونوف Andronov) ودراسات اجمالية (Andronov وشايكين Cheikin ، 1937 ؛ مينورسكي Minorsky ؛ وهاغ Haag ، وسانسون Sansone وكونتي Conti وليفشيتز Lefschetz ، 1959) .

تتمات ـ ان الدراسة في الحقل المعقد ، حول الصفر ، التي تناولت حلول نظام تفاضلي :

$$\frac{dx_1}{X_1}=\frac{dx_2}{X_2}=\ldots=\frac{dx_n}{X_n}$$

وفيه تكون الأحرف (X) عدماً عند الصفر ، وهو لومورفية بجوار هذه النقطة ، وهي دراسة بدأها بوانكاريه وبيكار ، قد استكملها بشكل خاص بنديكسون Bendixson وبوترو وشازي ودولاك وغارنييه ومالمكويست. . .

وأعطت الدراسة المماثلة في الحقل الحقيقي أعمالاً مهمة من قبل ليابونوف Lia (1892) pounov و Hadamard و بانلفيه ا وكوتون Cotton الخ كما توضحت معانٍ مختلفة لكلمتي استقرار Stabilité ولا استقرار instabilité من قبل بيركوف (1927) .

وأكتفى Poincaré بنظام المعادلات العامة للديناميك (أو إذا شئنا ، « حساب المتغيرات ») ، فتوصل إلى نتائج مهمة بفضل وجود « الثابت المتكامل » ، الإيجابي أصلاً ، في هذا النظام . وهكذا حقق « الاستقرار على طريقة بواسّون Poisson » (الرجوع عدداً لا متناهياً من

المرات ، إلى أقرب نقطة مرغوبة من الوضع الأصلي) .

وطبق شازي J. Chazy هذه النظرية عن الثوابت المتكاملة ، بتوسيع نظرية النوعية حول الأنظمة التفاضلية ، معتبراً من جهة أخرى مثل ساندمان حلّ مسألة الأجسام الثلاثة تابعاً وظيفياً تحليلياً للزمن ، فتوصّل (1920) إلى نتائج مفيدة حول المسارات : تصنيف ، المسلك عندما تتزايد t إلى ما لا حدّ له .

ولم تهتم نتيجة Poincaré بكل المسارات دون استثناء : ان احتمال تعطيل القاعدة من قبل مسار مأخوذ بالصدفة هو « متناهي الصغر » . والمبدأ « الارغودي » (الطاقي) القائل أن المسار (باستثناءات قليلة) هو « كثيف في كل مكان » في الفضاء وأنه يملؤه « بكثافة نوعية ثابتة » هو دقيق الاثبات ومتناهي الصعوبة : والمسألة لم تعالج إلا حوالي سنة 1931 ، بناء على تشجيع بيركوف () D. Birkhoff من قبل كوبمان Koopman وهوف E. Hopf وفون نيومان J. Von Neumann الذين استعملوا النتائج الأكثر دقة في نظرية وظائف المتغيرات الحقة .

إن المعادلات العامة في الديناميك ، بالشكل الذي قال به هاميلتون Hamilton ، ليست غير المعادلات ذات المميزات الموجودة في معادلة ذات اشتقاقات جزئية من المرتبة الأولى ، وهذا الحدث معروف من زمن بعيد . ومن دون شك ، إنّ مفهوم الضمة المؤلفة من المتطرفات الاعتراضية فوق ذات السطح (كنيسر Kneser) ثم قاعدة « الاستقلال » التي أشار إليها هيلبرت في محاضرته الشهيرة سنة 1900 ، في باريس ، هما اللذان أوضحا ، بشكل ملحوظ ، هذا النوع من الأسئلة : « إن تجميع المتطرفات Extrémales لجعلها اعتراضية في نفس السطح » ليس شيئاً آخر إلا « تجميع مميزات معادلة ذات اشتقاقات جزئية من المرتبة الأولى من أجل استخلاص حلّ معيّن منها » .

وحوالي سنة 1901 ادخل E. Cartan المفهوم العام « للشكل التفاضلي الثابت » بالنسبة إلى نظام تفاضلي وأوضح رابطته الضيقة بمفهوم اللامتغير التكاملي المستخدم من قبل Poincaré .

وأخيراً استفاد فسيو E. Vessiot من الفكرة التي أطلقها لي S. Lie ومفادها أن كل تغير في التماس لا متناهي الصغر (في السطح) يمكن أن ينظر إليه وكأنه انتشار موجات ، فبيّن (1906 - 1913) أهمية مفهوم الموجة الأولية سواء من أجل حساب المتغيرات ونظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية من الرتبة الأولى ، أم من أجل الديناميك التحليلي أو الفيزياء الحديثة .

تدخل نظرية المجموعات ـ بعد 1883 ، أقام E. Picard ، فيما خص الوظائف المنسجمة مع المعادلة التفاضلية الخطية نظرية مماثلة تماماً للنظرية التي قدمها غالوا Galois بالنسبة إلى المعادلات الجبرية . ان الوظائف (n) التي تشكل نظاماً أساسياً من الحلول بالنسبة إلى معادلة من رتبة n ذات معاملات جذرية ليست محددة بالعلاقات التي تربطها بمشتقاتها وبالمتغير ، إلا بعد بعض التحولات الخطية التقريبية : ان مجمل هذه التحولات يشكل مجموعاً مستمراً خطياً ، مجموع التجذير ، وهو يعطي نوعاً ما مقياس تجاوزية الحلول ؛ إن تصنيف الوظائف التي تثبت معادلة خطية يرتكز إذاً على خصائص المجموعات الخطية . واستعمل Vessiot نتائج Lie فقدم

سنة 1891 عرضاً أنيقاً لهذه البحوث ، ودلَّ بشكل خاص على الشروط الضرورية والكافية من أجل أن تتكامل المعادلة الخطية بالتربيعات .

لقد كان من الطبيعي البحث في توسيع هذه النتائج لتشمل مجموعات أخرى . وبين Lie أن كل الحالات تقريباً التي تعرض عادة في تكامل المعادلات التفاضلية تنتج عن تحولات تشكل مجموعاً . هذه المجموعات ، إذا نفذت في المتغير x ، أو في المتغير x والوظيفة y ، تترك المعادلة غير متغيرة . ولكن الحالات التي أشار إليها Lie كانت دائماً حالات خاصة . وقد أشار دراك J. Drach سنة 1893 إلى أن هذه البحوث لا يمكنها أن تشكل التعميم الحقيقي لنظرية Galois وأسس في سنة 1898 نظرية عامة حول « التكامل المنطقي » ، بالنظر إلى المجموع النقطي ponctuel ذي المتغيرات التي يبلغ عددها n والذي يسمح بالانتقال من نظام من n متكاملات أولى مستقلة إلى نظام آخر . ووضعت أعمال Vessiot (1902) بمنجىً من كل انتقاد التبيين الدقيق لوجود مجموع التجذير المطابق . وقادت طريقة Drach الجبرية مباشرة ـ انطلاقاً من المعادلات التفاضلية ـ إلى المجموعات المتفرعة عن المجموع النقطي العام ؛ وهي مستقلة عن نظرية Lie وإن كانت تتيح التوصل إليها .

وقد أجرى Drach العديد من تطبيقات نظريته على مسائل متنوعة من الجيومتريا والميكانيك (خطوط التواء سطح الموجات ، الخطوط المقاربة للسطح المكعب الأكثر عمومية . . .) . فضلاً عن ذلك إنّ هذه النظرية حول التكامل المنطقي هي التي أتاحت لـ بانلفيه ، أن يؤكد أن بعض المعادلات الجديدة تحدد متجاوزات [= متساميات] وتتحول إلى متجاوزات سبق ادخالها في التحليل .

إن نظرية ريت (1932, 1950) يمكن أن تعتبر بمعنى من المعاني ، وكأنها تكميل لنظرية Drach ؛ وهي ترتبط بالدفع القوي « الجبري » الموجه ، خاصة من قبل نوذر E. Noether ، إلى الرياضيين الحديثين . والأعمال الحديثة الأكثر أهمية في هذا الشأن هي أعمال كولشن E. Kolchin .

II ـ المعادلات ذات المشتقات الجزئية

إن نظرية المعادلة ذات المشتقات الجزئية من الدرجة الأولى مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بنظرية نظام من المعادلات التفاضلية العادية هو نظام « المميزات » . فإذا كانت المعادلة تحليلية ، فإن المميزات تكون كذلك ، وبحسب طبيعة الطرح الأساسي « قيمة الوظيفة المجهولة عن $x_n = 0$ مثلاً) ، فإن الحلول تكون أو لا تكون تحليلية . وعرضت نتائج مماثلة بالنسبة إلى نظام من الدرجة الأولى ذي مجهول واحد .

إن الظروف تختلف تماماً في حالة المراتب الأعلى من واحد ، أو في أنظمة المرتبة الأولى ذات المجهولات المتعددة .

النظرية التحليلية ـ نضع أنفسنا أولاً من وجهة النظر التحليلية ، كما فعل Cauchy وكوفالفسكايا Kovalevskaïa وخلفاؤهما المباشرون سيراي Ch. Méray وريكييه Ch. Riquier .

و Riquier هو الأول ، الذي بيَّن ، في سنة 1893 ، بالنسبة إلى نظام تحليلي متجانسٍ شكلاً ، قاعدة دقيقة تدل على الوظائف الأساسية التحليلية المستقلة ، بعدد محدد ، يمعي الحصول عليها من أجل تحديد حل كامل . هذه القاعدة مهمة جداً ، ولكنها لا تهدف إلا إلى نتيجة محلية في تحليل المتغيرات المعقدة .

وبهذا التحليل بالذات تتعلق أعمال E. Cartan (1901 - 1904) : دون تمييز ، في البداية ، بين مختلف المتغيرات التي أعملها ، المتغيرات التي هناك مجال لاعتبارها متعلقة بالأخريات ، عالج كارتان الحالة العامة المتعلقة « بنظام من المعادلات ذات التفاضليات الشاملة » أو « نظام بفاف Pfaff » ، وتوصل فيما بعد ـ فيما خص الأنظمة العامة المتعلقة بالمعادلات ذات المشتقات الجزئية ـ إلى مفهوم « نظام الترقية أو التجذير » وهو مفهوم مستقل عن كل شكل خاص يعطى لنظام ، وغير متغير بالنسبة إلى كل تبديل في المتغيرات سواء المستقلة منها أو غير المستقلة .

وبين جانيه M. Janet (في سنة 1913) ـ بفضل طريقة المعاودة (التكرار) التي تنقل من حالة المتغيرات (بعدد n) المستقلة إلى حالة (n + 1) ـ كيف أن قاعدة Cauchy البسيطة ، ذات معادلة المجهول الواحد ، من المرتبة العامة m ، تمكن من الحصول على قاعدة ذات وجودعام : وترتكز القاعدة بصورة أساسية على واقعة أن كل نظامٍ من المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، وذات عدد محدد من الوظائف المجهولة ، يساوي نظاماً لا يتضمن إلا عدداً محدداً من المعادلات (تريس A. Tresse ,1892) .

يمكن اعتبار نظرية حزمات التغيرات اللامتناهية الصغر ، التي نادى بها Vessiot (1924) كقرين لنظرية أنظمة Pfaff المعزوة إلى E. Cartan .

وتستخدم طريقة E. Cartan « الحساب التفاضلي الخارجي » ؛ وهي تتلاءم بشكل خاص مع التطبيقات الجيومترية وقد استخدمت أيضاً كأساس لنظريته المهمة حول بنية مجموعات التحولات غير المتناهية ، بالمعنى الذي قصده Lie . وقد عممت بعد ذلك ، خاصة من قبل كاهلر E. Kaehler ، الذي وسَّعها فاشملها أنظمة ما حول المعادلات التفاضلية الخارجية (1934) .

ومعادلة المرتبة الثانية ذات المتغيرين المستقلين ، ذات المميزات المنفردة ، قد عولجت (دائماً من هذه الزاوية ، حيث كل الوظائف الداخلة هي تحليلية) ، من قبل داربو G. Darboux وغورسا E. Goursat اللذين ردا بحث المعادلات « القابلة للحلّ بشكل ظاهر » إلى معادلات تقبل « ثابتين » لكل نظام ذي مميزات . واستكشاف ما إذا كان هذا قد حصل يقتضي سلسلة لا متناهية من العمليات ، ولهذا أيضاً وجب الاكتفاء بالبحث عن شروط ، فقط ضرورية ، من أجل شكل المعادلة ، التي أصبحت بالتالي مخصصة . وقد توصل غو E. Gau وغوس R. Gosse إلى نتائج في هذا الاتجاه . استعمل Vessiot طريقته حول حزمات التحولات اللامتناهية الصغر فبيّن (سنة 1942) أن مسألة البحث عن المعادلات المتكاملة ، بواسطة طريقة Darboux ، هي بكاملها محكومة بنظرية استمرارية مجموعات التحولات .

وتابع دراك ـ مسترشداً بأفكاره حول التكامل المنطقي ، ومتخلياً عن طريقة

Darboux ـ دراسة المعادلة من المرتبة الثانية ذات المتغيرين ، في الطريق الذي كان فتحه آمبير Ampère سابقاً : واستطاع بفضل الادخال الظاهر لمتغيرات Ampère (1926) أن يبين الرابط المتبادل بين المعادلات البسيطة ذات المظاهر المتنوعة جداً .

إن دراسة وتصنيف الأنظمة المتضمنة معادلات مستقلة بعدد الوظائف المجهولة ، قام بهما M. Janet (1920) الذي قدّم عنهما (1926) تطبيقاً لنظام شلافلي Schläfli ، المستعمل ، حتى ذلك الحين ، بدون تبرير كاف في نظرية النسبية التي قال بها Levi - Civita .

وبالنسبة إلى معادلة ذات مشتقات جزئية وذات عدد m من المتغيّرات المستقلّة ، مفترضة من المرتبة الثانية ، نأخذ محلياً ، من أصل تعددية ذات n - 1 من الأبعاد ، الوظيفة المجهولة واحدى مشتقاتها في وجهة غير متماسة مع التعددية ، فيمكن عموماً حساب المشتقات الثانية ، والمشتقات المتتالية من كل مرتبة . وهناك استثناء بالنسبة إلى بعض التعدديات ، المسماة متميزة والتي أبرزها بودون J. Beudon (1897) . وقد وسع هذا المفهوم من قبل J. Hadamard فاشتمل أنظمة تتضمن عدداً من المعادلات بعدد الوظائف المجهولة ، أنظمة طبيعية (1899) وغير طبيعية ضمن بعض الفرضيات (1906) .وعلى العموم ، ان التعدديات المتميزة عند Beudon - Hadamard تتحدد بمعادلة ذات مشتقات جزئية من المرتبة الأولى ، خطوطها المميزة تسمى « ثنائية التميز » في المعادلة أو في نظام معين من المعادلات .

إن هذه المفاهيم مشتقة من الدراسة التحليلية السابقة : والتعدديات المميزة لمعادلة تحليلية معينة هي التعدديات الاستثنائية بالنسبة إلى قاعدة Cauchy - Kovalevskaïa .

المتغيرات الحقيقية ـ لنقف الآن من ناحية المتغيرات الحقة وهي ناحية توصلنا إليها بالضرورة معادلات الفيزياء الرياضية أمثال :

معادلة الزخم (نيوتنية) : $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}=0$ (1)

معادلة الموجات الكروية : $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}-\frac{1}{a^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=0$ (2)

المعادلة الأولى ليست لها مميزة حقيقية . أما مميزات الثانية ، f = ثابتة ، فهي محددة بـ :

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2-\frac{1}{a^2}\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2=0$$

هذه الوقائع مرتبطة بشكل وثيق مع طبيعة الحلول الحقيقية التي تقدمها إحدى المعادلتين .

الزخم من النمط الاهليلجي ـ بالنسبة إلى معادلة الزخم ، وإذا اتخذنا ـ على x = 0 مثلاً ـ قيم u = φ و du/dx = ψ ، مستجمعة الشروط العامة للاستمرارية والاشتقاقية ، وإذا بحثنا عن حل محدد من جهتي x = 0 ، فهذان الحلان يجب أن يشكلا في مجموعهما وظيفة واحدة « هرمونيكية » تكون تحليلية (دوهم P. Duhem ، 1891) ؛ وإذاً لا تكون المسألة ممكنة إلا إذا كانت φ و ψ تحليليتين . وإذا لم يبحث عن u إلا من جهة واحدة من x = 0 فإمكانية المسألة تقتضي علاقة بحيث إذا

كانت إحداهما معروفة ، فالأخرى تكون محددة بوظيفة تحليلية قريبة (Hadamard ، 1902) . فضلاً عن ذلك ، إذا أبدلنا ، في الحالة الأولى ، φ و ψ بوظائف تحليلية قريبة جداً (وهذا دائماً ممكن) فلا يمكن الأمل باستخراج حلّ منها ، بالانتقال إلى الحد : وتدل أمثلة بسيطة على القيم الكبرى التي تتخذها الحلول ، من أجل معطيات تحليلية حقيقية صغيرة جداً (Hadamard ,1917) .

إن الفيزياء هي التي أوحت يومها بفكرة مسألة « مطروحة جيداً » : مسألة ديريكلي ، وهي تقوم على إيجاد حل للمعادلة (1) في حجم معين بعد معرفة قيمة u فوق حدودها .

أما بالنسبة إلى المعادلة (2) فإنّ مسألة Cauchy هي التي تبقى «مطروحة جيداً»، إذا، على الأقل ، كانت المعطيات (الطروحات) محمولة بتعددية « موجهة في الفضاء » : إن التعدديات التمييزية تتدخل من أجل تحديد انتشار اللااستمراريات من المرتبة الثانية .

هذه المفاهيم الأساسية قد أثبتت خاصة من قبل Hadamard منذ السنوات الأولى من القرن العشرين . إن إحدى الخصائص الأكثر قرباً لوظيفة تتوافق مع معادلة الزخم(أو معادلة Laplace) في مجال D (وظيفة هرمونيكية) هي أن تكون مساوية في كل نقطة A داخل D لمتوسط قيمتها فوق سطح كرة مركزها A ومحتواة بكاملها ضمن D . هذه الخصوصية فتحت المجال أمام الكثير من التعميمات . وأدخل F. Riesz (1926) تحت اسم الوظائف « تحت الهرمونيكية » الوظائف الدنيا في كل نقطة A ، التي هي أدنى من متوسطها فوق سطح كرة صغيرة بما فيه الكفاية ذات مركز A ؛ هذه الوظائف اتخذت فيما بعد أهمية (برولو M. Berlot) . ومن جهة أخرى ، قدم ج . شوكيه G. Choquet ودِيني J. Deny (1944) صيغاً للمتوسطات في مجاميع أكثر عمومية وكان لبحوثهما حول هذه النقطة نتائج مدهشة (شوارتز L. Schwartz ، هـ . كارتان H. Cartan) . وبالنسبة إلى معادلات من نمط آخر مختلف تماماً ، إنما أيضاً ذات معاملات ثابتة ، نشير إلى وجود صيغة عامة للمتوسط يعود الفضل فيها إلى اسغايرسون A. Asgeirsson (1932) وتشكل إحدى النتائج الأهم والأعم التي عرفت حول هذه الحالة المدروسة قليلاً ، والمسماة « ما فوق القطعية الزائدة » ومعادلتها هي :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 u}{\partial z \partial t} = 0$$

وهي المثل الأبسط (Hamel ,1901) .

وفيما خص مسألة Dirichlet ، لاحظ Riemann ـ بين كل الوظائف التي لها القيمة المعطاة عند الحدود ـ أن الوظيفة التي تقلص إلى أقصى حد متكاملة ما ذات شكل بسيط قام بتعيينها ، تفي حتماً بغرض المعادلة (1) . وقد لاحظ Weierstrass أنه يبقى للبيان ، وبدقة ، وجود مثل هذه الوظيفة . وتوصل D. Hilbert إليها (1901) بفضل مفهوم عائلة الوظائف (المتتالية أيضاً) والتي يعود الفضل فيها إلى أسكولي Ascoli وأرزيلا Arzela . إن هذه « الطريقة المباشرة » في « حساب التغيرات » ، قد استعملت بعد ذلك ، في هذه المسألة بالذات ، من قبل Lebesgue (1907)

وزارمبا Zaremba (1909) ، وفي حالات مماثلة أخرى من قبل تونلي L. Tonelli ورايز F. Riesz و P. Montel و R. Courant .

إن الطريقة التي اقترحها نيومان G. Neumann (1877) تقوم على تمثيل الحل المطلوب تحت شكل زخم ذي طبقة مزدوجة ممتدة على طول الحدود المتطورة ، وهكذا تم الوصول إلى « معادلة متكاملة » لها شكل المعادلات التي درسها فيما بعد ، بشكل أكثر عمومية فردهولم (1903) I. Fredholm .

وتكتب المعادلة العامة التي وضعها Fredholm : $f(M) + \lambda \int_v K(M, P)\, f(P)\, d v_p = g(M)$ حيث تكون $K(M, P)$ وظيفة معطاة ، وكذلك $g(M)$ وتكون λ ثابتة معطاة . وحصل Fredholm ، على العموم ، على حل وحيد وعلني صريح ، بشكل حاصل قسمة وظيفتين كاملتين من λ ؛ أما بالنسبة للقيم الاستثنائية لـ λ ، فالمسألة مستحيلة عموماً ؛ فإذا أصبحت ممكنة فإنها تصبح بذات الوقت غير محددة .

إن طريقة Fredholm القوية قد أتاحت معالجة العديد من المسائل المتعلقة بالمعادلات ذات المشتقات الجزئية ، وقد نورت الأعمال القديمة التي قام بها ستورم ـ ليوفيل Sturm - Liouville ، وأتاحت السيطرة على مسألة وجود وظائف أساسية في نظام متذبذب ، التي كانت كلفت الكثير من الجهود سابقاً : وبيّن Schwarz وجود أول وظيفة سنة 1885 وبين Picard الثانية سنة 1893 ، وبيّن Poincaré الكل سنة 1894 . نشير بهذا الصدد إلى التطور ، الذي حصل في النصف الأول من هذا القرن ، لمجمل نظرية المعادلات المتكاملة الخطية ، المتضمنة معادلة فولتيرا (الأبسط من معادلة Fredholm) والمعادلة ذات الحدود الثابتة من الصنف الأول (حيث لا يظهر في الشق الأول الحد بدون إشارة التكامل : $f(M)$) ، وهي الأكثر صعوبة من معادلة Fredholm ، والتي قدم E. Picard على أساسها نتيجة مهمة (1909) ، ثم المعادلات المتكاملة المفردة (ويل H. (1908) Weyl ؛ وكارلمان T. Carleman ، 1923) . لنلاحظ أن هذه أدوات ملائمة تماماً وعظيمة الفائدة .

وهنالك طريقة مختلفة تماماً هي طريقة المسح المنسوبة إلى Poincaré (1890) ، حيث تتحقق ، في كل تقريب ، شروط المحاذاة في حين لا تكون المعادلة ذات المشتقات الجزئية كذلك إلا عند الحد النهائي . وعلى أثر أعمال La Vallée - Poussin (1930) ظهرت توسيعات ضخمة لهذه الطريقة ، سوف يكون مكانها أبعد من هنا بقليل .

إن كل ما تقدم ، يطبق ، مع بعض التغيير في التفصيلات ، مهما كان n ، على المعادلة العامة التي قال بها Laplace وهي :

$$\Delta u \equiv \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2} = 0$$

من المعلوم منذ زمن بعيد أن الوظائف ـ داخل مجال وجودها ـ التي ترضي هذا الوجود (وظائف هرمونيكية) هي تحليلية بالنسبة إلى المتغيرات المتنوعة $x_1, x_2 \dots x_n$. هذا القاعدة الرائعة أولدت عدداً كبيراً من التعميمات : وقد بيِّنت بالنسبة إلى المعادلات الخطية الاهليلجية ذات

المعاملات التحليلية من قبل E. Picard (1890) ثم بالنسبة إلى أنماط أكثر عمومية بكثير من قبل برنشتاين S. Bernstein (1904, 1910, 1928) ومن قبل جيرو G.Giraud (1926) وجفري M. Gevery إلخ .

وفي حالة n = 2 ، مهما كان منحنى جوردان Jordan الذي يحدد المجال فقط المجاور المعين ، يكون لمسألة Dirichlet حل بالنسبة إلى كل وظيفة مستمرة معينة على الدائر . وفي حالة n = 3 ، وبالنسبة إلى مجالات محددة بسطوح مغلقة بسيطة جداً ، قد يحصل - بالنسبة إلى بعض الوظائف المستمرة المعطاة على التخم - أن لا ينزع « الحل » الوحيد الممكن مجدداً - بالنسبة إلى نقاط - تخوم استثنائية - نحو القيمة المبتغاة (Lebesgue ، 1912) . إن طرح المسألة بالذات قد استكمل بشكل ملحوظ من قبل فينر N. Wiener في سنة 1924 :

عندما تكون G مجالاً محدداً بسطح تخم Γ و f (p) وظيفة مستمرة في G + Γ و G_p سلسلة من المجالات ذات التخوم Γ_p ، المتلاقية نحو G ، والتي تكون بالنسبة إليها مسألة Dirichlet محلولة ، باعتبار أن كل G_p هي جزء من G_{p+1} ، عندها تتلاقى سلسلة حلول u_p (بحيث تكون $\Delta u_p = 0$ في G_p و $U_p = f$ فوق Γ_p) بشكل متسق ، في كل حقل مغلق هو جزء من G ، نحو وظيفة u ؛ إن هذه الوظيفة مستقلة عن التابعة الخصوصية لـ G_p وعن القيم التي تتخذها f داخل G . ان u هي التي تسمى حل مسألة Dirichlet المعممة . من هنا يستنتج بسهولة مفهوم سعة المجال .

إن الوظيفة الهرمونيكية الحاصلة يمكن أن لا تنزع نحو القيمة المفروضة : والنقطة التي قد تكون محط هذا الحدث الاستثنائي تسمى غير منتظمة . وقد بيّن Wiener أن نقطة ما تكون منتظمة أو غير منتظمة ، بحسب ما تكون سلسلة ما محددة تماماً متفرقة أو متلاقية .

وتؤكد قاعدة قديمة وضعها E. Picard (إنما نشرت سنة 1923) ان وظيفة هرمونيكية لـ M في مجال ما ، باستثناء نقطة A ، ومحدودة باتجاه هي بالضرورة من الشكل : K.h (AM) + v (AM) ، حيث تكون v هرمونيكية حتى في A ، $h(AM) = \frac{1}{|AM|^{n-2}}$ (أو $\frac{1}{|AM|}$ في حال n = 2) ، و K = ثابتة . وفي سنة 1925 حصل بوليغان G.Bouligand ، على تعميمات مفيدة من هذه النتيجة بالنسبة إلى حالة نقطة - تخم ، ليست بالضرورة معزولة . ويمكن أيضاً اعتبار هذا المبدأ حول « الفرائد الإيجابية » ، وكأنه في أصل البحوث الدقيقة التي قام بها م . برولو (1939 وما بعد) . وعلى أثر هذه البحوث ، وبعد استعمال الملاحظات المهمة التي قدمها La Vallée - Poussin (1930, 1937) ، قدم H. Cartan (1941 وما بعد) نظرية جديدة عامة جداً حول الزخم والمسح ، عولجت بصورة منهجية بواسطة « مقاييس رادون Radon الإيجابية » (وظائفية خطية إيجابية ، محددة بالنسبة إلى مجمل الوظائف المستمرة الإيجابية ، والمعدومة خارج مجموعة كثيفة) ؛ وتتبع نظرية النقاط غير المنتظمة هنا ، بدلاً من استباقها ، النظرية العامة حول المسح ، وتنبثق عنها بشكل طبيعي ، إن أمكن القول ، وتجب أيضاً الإشارة إلى الأعمال الجميلة الحديثة التي قام بها G. Choquet حول طاقة المجموعات .

نذكر أيضاً ، في جملة المعادلات الأخرى الشهيرة ، المعادلة التي أدت إليها نظرية السطوح

الدنيا [الأقلية] : لقد كانت مسألة بلاتو Plateau موضوع دراسات من قبل R. Garnier ودوغلاس Douglas (1930) و R. Courant . في كل هذه المسائل تطرح دائماً المسائل الأساسية الثلاث حول الوجود ، والوحدة ، والاستمرارية .

الموجات والنمط الهيبربولي - إذا كان الشكل المميز للمعادلة ذات الاشتقاقات الجزئية من المرتبة الثانية وذات عدد (m) من المتغيّرات المدروسة ، غير محدّد ، أي أنّه مجموع عدد (m) من المربعات المستقلة ، ولكن غير مزودة كلها بنفس الإشارة ، عندها تكون المعادلة من النمط الهيبربولي (القطعي الزائد) . إنّ النمط الهيبربولي الطبيعي - الذي زود أحد مربعاته بإشارة ، أما الأخريات m - 1 فزودت بإشارة معاكسة - هو الذي درس أكثر حتى الآن : إن مسألة كوشي مطروحة هنا تماماً ؛ بشرط أن تكون النوعية S التي تحمل المعطيات ، ذات توجه فضائي لا زمني ، كما يقال . إن القيمة التي تتخذها u في نقطة P خارجة عن S لا تستخدم إلا قسماً من المعطيات ، أي المعطيات المتعلقة بقسم من S يزداد اتساعه بمقدار بعد P ذاتها عن S . وبافتراض المعادلة خطية وتحليلية وغير بارابولية (قطعية مكافئة) عرف Hadamard بشكل عام « الحل الأولي » الذي سبق أن عثر عليه بيكارد في حالات خاصة . ثم فيما خص النمط الهيبربولي العادي توصل Picard إلى حل مسألة Cauchy « المطروحة تماماً » بفضل استعمال « الصيغة الأساسية » (غرين - ريمان Green-Riemann) و« المفهوم الجديد » المحدث بهذا الشأن ، عن « القسم المتناهي » لمتكاملة متنافرة ، وهذا على كل ، في حالة تكون فيها (m) وتراً ؛ أما الحالة التي تكون فيها m شفعاً فتعالج بطريقة « المنحدر » . إن أعمال Hadamard (من 1904 إلى 1932) قد وضحت الكيفيات المختلفة التي من خلالها يمكن فهم مبدأ هويجن «Huygens» ؛ في معناه المحصور ، لا يكون صحيحاً على الاطلاق عندما تكون m وتراً ؛ وهو غير صحيح عندما تكون m شفعاً إلا إذا كان « القسم اللوغاريتمي من الحل الأولي قد زال » . وفي سلسلة من البحوث ترقى إلى سنة 1933 (عرضت في مجملها سنة 1948) ، عاد M. Riesz إلى المسألة فنجح في استبعاد التمييز بين الحالتين بحسب شفعية m .

وبمسألة Cauchy أيضاً - حيث المعطيات لا تفترض تحليلية ، بل قابلة للاشتقاق فقط حتى مرتبة مناسبة - اهتم بنجاح ،فيما خص الأنظمة ،كل من هرغلوتز Herglotz(1927) ، بتروفسكي Petrovsky ، وبورو Bureau وستيلماشر Stellmacher (1938) وغاردينغ Garding ولوراي J. Leray (1951) ومدام فوريس - بروها Mme Foures - Bruhat (1952) ، إلخ .

وعاد Leray ، بعد شاودر Schauder و Petrovsky ، إلى وجهة النظر التحليلية التي قال بها Cauchy - Kovalevskaïa ، فدرس الحالة الخطية حيث تتميز التعددية التي تحمل المعطيات ، في بعض من نقاطها فقط : إن الحل يمكن أن يُوحّد شكلاً فيكون - إلا في حالات استثنائية - جبروياً (1957) .

ومن جهة أخرى ، وباستعمال تحول لابلاس Laplace ، توصل Leray في حالات واسعة إلى حلّ حاسم وصريح لمسألة Cauchy (1958) .

إن كون مسألة Cauchy ـ المفترضة ممكنة ـ لا يمكن أن تجد لها إلا حلاً واحداً ، تحليلياً أم لا ، إذا كانت التعددية التي تحمل المعطيات غير مميزة ، هو أمر واقع ، منذ عمل قديم قام به هولمغرن Holmgren (1901) بالنسبة إلى حالة المعادلات الخطية ذات المعاملات التحليلية .

وهناك تقدم أساسي حققه لووي H. Lewy (1927) الذي وسع النتيجة فشملت المعادلات من النمط الهيبربولي والمعادلات التحليلية من النمط الاهليلجي . وهناك أعمال مهمة حديثة حول هذه المسألة التوحيدية يعود الفضل فيها إلى كالديرون Calderon وهورماندر Hörmander .

النمط البارابولي والنمط المختلط ـ إن المثل الأبسط عن المعادلة البارابولية هي المعادلة : $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0$. وهناك مسألة «جيدة الطرح» هي مثلاً المسألة التي تقوم على اتخاذ u على الأقسام الثلاثة من تخم المجال $y \geqslant 0$ و $0 \leqslant x \leqslant 1$. وجاءت ، بعد أعمال هولمغرن (1905) ، وليفي أعمال جيفري (1913 - 1918) التي تطبق على المعادلة البارابولية الخطية العامة وقد قدّمت نتائج مهمّة . والدور ـ في الحالة الاهليلجية ـ المتروك إلى الوظائف التحليلية ، ينتمي بقسم منه إلى وظائف h (x) التي يجيب مشتقها p^e عن اللامعادلة :

$$|h^{(p)}(x)| < \frac{M\Gamma(\alpha p)}{\rho^p}$$

حيث $\alpha = 2$ و M و P تمثلان ثابتتين إيجابيتين .

وباعطاء α قيمة ما أعلى من 1 ، نحصل على طبقة من الوظائف تعمم طبقة الوظائف التحليلية ، أعطت منطلقاً لأعمال مفيدة (T. Carlman و A. Denjoy و E. Borel) .

وفيما يتعلق بوحدة حلول المسائل ذات الحدود المطروحة ، قدم دوتش G. Doetsch توضيحات مفيدة . أن اسم تريكومي Tricomi قد اقترن (1928) بالمعادلة $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + y\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$ ذات النمط الاهليلجي في المنطقة حيث $y > 0$ ، والنمط الهيبربولي في المنطقة حيث $y < 0$. إن المعادلات من هذا النمط المختلط تحتل دوراً مهماً في دراسة التسريبات عبر الصوتية . والمسائل التي تطرح نفسها علينا ترتدي صيغة وسط بين مسألتي Dirichlet و Cauchy (جيرمان P. Germain وبادر Bader ، 1953) .

الطرق العملياتية . التوزيعات ـ إنّ الطرق العملياتية عند هيفيسايد Heaviside (1892) استخدمت في بادىء الأمر دونما أساس رياضي كافٍ . وقد أمكن تبريرها ، في الكثير من الحالات بفضل التحول الشهير الذي قال به Laplace (دوتش 1937 ، فسان در بول (1920 - 1925) أو باستعمال التوظيفيات fonctionnelles التحليلية (L. Fantappiè 1930) أو الوظائف المعممة عند سوبوليف Sobolev (1936) أو ، أخيراً باستعمال « التوزيعات » .

إن هذا المفهوم الأخير ، الذي أدخله L. Schwartz سنة 1945 (أنظر الفصل اللاحق) قد سبق وعرف نجاحاً ضخماً يتيح مثلاً العثور ، وبشكل طبيعي على « الأجزاء المتناهية » التي ادخلها Hadamard ، ثم النظر ، في ضوء جديد ، إلى العوامل التي أدخلها M. Riesz ، واعطاء تعريف

عام لمفهوم « الحل الأولي » . واستعمل هذا المفهوم في الأعمال الجيدة التي قام بها J. Deny حول الزخم (1950) ، وفي نظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية (ليون Lions مسائل حول الحدود ؛ مالغرانج Malgrange وايرنبريس Ehrenpreis وهورماندر Hörmander : وجود وتقريبات الحلول ، 1955) .

تدخل الطوبولوجيا - إلى مسائل طوبولوجية ردّ لوراي وشاودر (1933) مسألة وجود حلول لبعض المعادلات الوظيفية المعثور عليها في مسائل ذات حدود متعلقة بمعادلات ذات اشتقاقات جزئية غير خطية . وكما هو الحال بالنسبة إلى معادلة جبرية P (x) = k حيث تمثل P متعدّد حدود معيناً ذا معاملات حقيقية ، وحيث تكون شفعية عدد الحلول مستقلة عن الثابتة الحقيقية k ، كذلك الحال بالنسبة إلى بعض المعادلات الوظيفية غير الخطية ، يوجد عدد صحيح إيجابي أو سلبي أو عدمي (مؤشر شامل) يبقى غير متغير عندما يتغير المعيار ، وتبقى الحلول محدودة في مجملها : من هنا أسلوب عام جداً للحصول على قواعد وجود . ان تعريف المؤشر الشامل أو الدرجة الطوبولوجية للتحول المعبر عنه بـ : y = x - F (x, k) في الصفر ، مشتق من أعمال بروور (1911) Brouwer ؛ وقد وسعه Leray وSchauder فاشملاه فضاءات أعم (اتجاهية ، ومعايرة ، وكاملة : فضاءات باناخ Banach) .

وطبقت الطريقة فعلاً على أمثلة كالمثل التالي : نفترض سطحاً له إطار معين ؛ مقابل كل وظيفة z للمتغيرين x, y نطبق الوظيفة Z التي تتخذ فوق الإطار القيمة z بشكل يناسب المعادلة الخطية :

$$a \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + 2\, b \frac{\partial^2 Z}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} = f$$

حيث a, b, c, f هي وظائف معينة لـ $x, y, z, \frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y}$ (نفترض $a c - b^2 > 0$ بحيث أن وجود Z ينبثق عن أعمال قديمة قام بها Picard) . ويمكن أن نكتب Z = F (z) ، والأسلوب السابق يعرّف نوعاً من التوظيفية (الدالية) fonctionnelle . وتؤدي مسألة تحديد حل للمعادلة غير الخطية (شبه خطية في الواقع) $a \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2\, b \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = f$ باتخاذ قيمة z دائماً على الإطار ، تؤدي إلى المعادلة الوظيفية z - F (z) = 0 .

في هذا المسألة يتوجب استخدام لا معادلات يوافقها الحل Z للمسألة المشار إليها أعلاه . أن أعمال H. Lewy وفريدريخ K. Friederichs (1928) مثلاً أدت خدمات جلّى .

وبشكل عام جداً ، استطاع J. Leray أن يكتب (1936) : « إن إثبات وجود حلول لمعادلة وظيفية يعني اعطاء زائدات للحلول التي قد تكون لهذه المعادلة . وحل معادلةٍ ما يعني إيجاد حدّ أعلى للمجهولات وتوضيح مسارها الأكثر إمكاناً » .

وقد توصل J. Leray ، بالنسبة إلى الحالات غير الخطية ، إلى إعلان نتيجة مماثلة للبديل الكلاسيكي للحالات الخطية ، الذي قدمت عنه معادلة Fredholm أحد الأمثلة الأكثر بروزاً .

إن نظرية المعادلات التفاضلية ، ونظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية مرتبطتان بالعديد من النظريات الرياضية : طوبولوجيا ، زمر ، احتمالات ، تحليل وظيفي ، الخ .وهما مرتبطتان أيضاً وبشدة بدراسة العالم الخارجي : فالعلوم : جيومتريا ، ميكانيك ، فيزياء هي مرشدات ثمينة لطرح المسائل ومن أجل اكتشاف الحلول .

والدراسة السابقة تؤكد على هذا التضامن بين كل أقسام العلم الرياضي ، وعلى هذا الترابط الوثيق بين التحليل والفيزياء ، وهما [التضامن والترابط] أمران شدد عليهما كثيراً D. Hilbert و H. Poincaré .

الفصل السادس

التحليل الوظيفي والتحليل العام

I ـ التحليل الوظيفي

حتى نهاية القرن التاسع عشر ، قلما جرى درس وظائف أخرى غير الوظائف العددية المتعلقة بمتغير واحد أو عدد محدد من المتغيرات العددية ، وهي وظائف سوف يسهل علينا ، فيما بعد ، أن نسميها « الوظائف العادية » . ولكن في هذه الأثناء بدىء بالاهتمام بوظائف عددية خاصة ، تتعلق بعدد لا متناهٍ من المتغيرات العددية .

ويبدو أن فيتو فولتيرا Vito Volterra هو الذي قام بالدرس المنهجي (الذي بدأه في القرن التاسع عشر وتابعه في القرن العشرين) للوظائف العددية المتعلقة أما بمنحن ، أو بوظيفة عادية . وسمى الأولى « وظائف الخطوط » ؛ وسمى هادامارد الأخرى « كوظائفية » . إنّ الدراسة العامة لهذه الوظائف الجديدة كانت أول موضوع للتحليل الوظيفي .

يجب أن نلاحظ أنه كان بالإمكان الحصول بصورة أبكر بكثير على مفهوم وظائف الخطوط . إذ أن المساحة A لمنحنٍ مسطح مغلق C هي وظيفية يمكن تمثيلها ب A [C] . وعثر المحللون في القرن الثامن عشر على نمط جديد عندما بحثوا في تحديد ذروة (Extremum) متكاملة : (1) $I(y) = \int_a^b f\left(x, y, \frac{dy}{dx}\right) dx$ ، وهي شكل عام من التعابير الخاصة نجدها في الميكانيك وفي الفيزياء .

و I (y) هي حقاً وظيفة عددية متغيرها وظيفة « عادية » قابلة للاشتقاق y (x) . وبالنسبة إلى هذه المتكاملة ولأخرى غيرها أعم ، أتاحت دراسة حساب التغيرات « بوجه واسع » والتي قام بها مورس M. Morse ، تجاوز النتائج السابقة التي كانت تهتم « بالأدنى » المحلي بحثاً عن « أدنى » لا يكون كذلك ، فقط بجوار حلٍ محدد ، إنما على أن يكون أدنىً في مجال محدد سابقاً .

واستطاع آبيل Abel وفولتيرا وفردهولم Fredholm تعريف وحل « المعادلات المتكاملة » . وكان لا بدّ من تحديد الحلول، y ، في معادلة $J[y] = 0$ وفيها تكون J(y) وظيفية هي ، في حالة فردهولم ، من الشكل $J[y] = y(x) + \int_a^b K(x, t)\, y(t)\, dt - f(x)$ حيث K و f هما وظيفتان معطيّتان .

وقد درست الحالة الخاصة المتعلقة بالمعادلات المتكاملة التناظرية : $K(x, t) = K(t, x)$ بنجاح من قبل Hilbert وشميدت E. Schmidt .

إنما كان هناك مجال لعدم الإكتفاء بهذه الأنماط الخاصة من الوظيفيات . وهكذا تيسر السبيل إلى البحث ، كما طلب أولاً J. Hadamard ، عن أمكانية توسيع نظرية الوظائف العادية ، لتشمل الحالة التي لا يكون فيها المتغير أو المتغيرات عدداً أو أعداداً .

وكان من الواجب ، بشكل خاص ، تعميم مفاهيم الاستمرارية ، والمشتق ، والمتفاضل والمتكامل ، ومتعدّد الحدود والوظيفة التحليلية ، الخ .

وقد سبق ، منذ بداية حساب المتغيرات ، الاحساس بضرورة اشمال الوظيفيات من النمط (1) مفهوم المشتق . وعرّف لاغرانج وأولر Euler ، في هذه النظرة ، ما يسمى « بالتغيير » في وظيفية $\Phi[z(x)]$ وهي ليست إلا المشتق بالنسبة الى معيار Paramètre عددي إضافي $\Phi[z(x), \alpha]$ وفيه تكون $\alpha = \alpha_0$ حيث $z(x, \alpha_0) = z(x)$.

إن هذا الادخال قد أتاح وضع شروط مهمة ضرورية لوجود ولتحديد أدنى $I[y]$ المحدد بـ (1) . ولكن هذا لم يكن إلا الخطوة الأولى ، لأن هذا الادخال لم ينجح في الحصول على الشروط الضرورية والكافية . وكان لا بدّ من التعميم بشكل أكثر دقة ، كما سنرى فيما بعد ، في مفهوم المشتق ، أو التفاضل ، وبالعكس ، تم الحصول على تعميم مرض للوظائف « العادية » من الدرجة الأولى ، تحت شكل وظيفيات خطية ، أي ، سنداً لـ ج . هادامارد ، للوظيفيات التي هي توزيعية أو مستمرة . وتم أيضاً النجاح في تمثيل هذه الوظيفيات الخطية بشكل واضح في متكاملة ضمن حالتين مهميتن ، حالتين يكون فيهما المتغير منتمياً إلى الفضاءات الوظيفية L_2 (رايز وفريشيه) وC_0 (رايز) المحددة فيما بعد .

وبصورة أعم ، عمم M. Fréchet مفهوم متعدّدات الحدود وذلك بإطلاق اسم وظيفيه من المرتبة الصحيحة الكاملة n على الوظيفية المستمرة (في الحقل الوظيفي المعتبر) والتي يكون فيها « الفرق في المرتبة n » هو عدم بالمماثلة . واقترح ميشال A. Michal تعريفاً آخر مفيداً لنفس الغاية .

وأدخل ف . رايز تعميماً مفيداً حول تلاقي سلسلة من الوظائف في فضاء وظيفي E ، وكذلك توسيعاً مفيداً جداً لفكرة الاستمرارية .

وقال أن الوظيفة $f_n(x)$ المتعلقة بـ E تنحو قليلاً نحو $f(x)$ من E إذا كان العدد Lf_n يتجه نحو Lf مهما كانت الوظيفية الخطية L المحددة فوق E . وبيّن ، عندما تكون $E = L_2$ إنه : كي تتجه سلسلة f_n ، متجهة قليلاً نحو f ، أيضاً نحو f بالمعنى العادي للحد في E ، فمن الواجب ومن الكافي أن تتجه $\|f_n\| \to \|f\|$ (معيار f_n نحو معيار f) .

يقول ف .رايز ، أيضاً ، أن التحول $\varphi(x) = Tf(x)$ من عنصر f من L_2 ، إلى عنصر φ من

L_2 هو مستمر تماماً إن هو حوّل كل مجمل لا متناهٍ تحدّه وظائف من L_2 ، إلى مجمل متراص من وظائف من L_2 .

ولكن مثل وظائف الخطوط يدعو إلى عدم الاقتصار على الحالة التي يكون فيها متغير الوظيفية هو وظيفة « عادية » وإلى توسيع حقل التحليل الوظيفي حتى يشمل دراسة الوظائف العددية التي يكون متغيرها عنصراً مجرداً ، أي عنصراً من أيّ طبيعة .

وبدون أي تحديد آخر ، اعطى M. Fréchet ، سنة 1915 ، التعريف الأول والعديد من خصائص متكاملة وظيفيةٍ تمتد فوق مجموعة مجردة ، دون افتراض تزويد هذه المجموعة بطوبولوجية ما . كان هذا التعريف توسيعاً لحالة المجمـلات المجردة في تعريف متكاملة رادون الموسعة لتشمل مجموعة ذات عدد متناهٍ من الأبعاد . وقد ألحق هذا التعريف بتعريف آخر مختلف تماماً من قبل دانييل Daniell ، ثم عثر عليه من جديد نيكوديم Nikodym واستكمله هذا الأخير بقاعدة مهمة حول الاشتقاق .

وبالعكس ، أن اشمال التحليل الوظيفي بالمفاهيم الأخرى المنظورة(استمرارية ، الخ .) يتطلب ، كما أشار إلى ذلك J. Hadamard ، تعميماً لمفهوم الحد ، وتعريفاً لطوبولوجية في فضاء تجريدي . ولكن لما كان توسيع هذه المفاهيم حتى تشمل الحالة التي سوف تعالج (والتي هي موضوع « التحليل العام ») لا تعترضه أية صعوبة جديدة ، فسوف نكتفي بوصف هذا التوسيع الأكثر عمومية .

II ـ التحليل العام

إن الرياضيات الكلاسيكية تعطي أمثلة عن وظائف $Y = G (y)$ حيث لا يكون Y ، ولا y ، عدداً ، ولا نقطة في فضاء ذي عدد محدد من الأبعاد .

ذلك هو « تغيير Laplace » $Y(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{itx} y(t)\, dt$ حيث Y مثل y هي وظائف « عادية » لِـ x أو لـ t (المعقدين عند اللزوم) ولكن حيث Y يمكن أن تكون أيضاً كوظيفة لـ y من نمط جديد.

وهكذا نقاد إلى تصور فائدة نظرية تحولات عناصر z ذات الطبيعة غير المحددة إلى عناصر Z من طبيعة غير محددة أيضاً ، تحولات يمكن اعتبارها أيضاً كمحددة كل منهما بوظيفة $Z = \Phi (z)$. ودراستها هي موضوع النظرية المسماة « التحليل العام » .

وكما هو الحال بالنسبة إلى التحليل الوظيفي ، هناك مجال لمحاولة تعميم المفاهيم الكلاسيكية حول الاستمرارية والاشتقاق (أو التفاضل) والتكامل ، ومفاهيم متعدّدات الحدود ، وعدد الأبعاد، الخ . بموجب هذه النظرية الجديدة . ويتدخل في كل هذه المفاهيم ـ ضمن التحليل الكلاسيكي ـ مفهوم حد سلسلة من الأعداد . إنّ هذا المفهوم إذاً هو ا لذي يتوجب تعميمه أولاً ، وبالتالي من هنا بالذات ، تأسيس « طوبولوجيا » الفضاءات المجردة .

إن الطوبولوجيا هي دراسة التحولات المستمرة التي يمكن تعريفها كما يلي :

نفترض 𝔈 مجموعة عناصر مجردة ، مجموعة نريد أن نجعلها سنداً لفضاء مجرد . لنربط ، « بشكل ما » بكل « مجمل فرعي » E من 𝔈 مجموعة E′ تحتوي على E ونسميها مجموعة تسكير E . أن كل عنصر x من E′ يسمّى ملاصقاً لـ E . نفعل نفس الشيء بالنسبة إلى مجموعة 𝔉 ، سند لفضاء مجرد (متميز أو غير متميز) عن الأول .

نفترض الآن $Y = \Phi(y)$ تحولاً لعنصر ما y منتمٍ إلى مجموعة فرعية E من أصل 𝔈 ، إلى عنصر Y من 𝔉 . ولتكن F مجموعة هذه المتحولات Y من عناصر E . فنقول أن $\Phi[y]$ مستمر فوق E عند النقطة y_0 ـ عندما تكون y_0 ملاصقة لمجموعة فرعية E_0 من E ـ إذا كان العنصر المطابق ، Y_0 ، مجاوراً للمجموعة f_0 من العناصر Y المطابقة لعناصر E_0 .

نرى في الحال أنه في الحالة التي تكون فيها 𝔈 و𝔉 فضائين ديكارتيين ، لكلّ منهما عدد محدد من الأبعاد ، فإنّ هذا التعريف مطابق للتعريف الكلاسيكي ، إذا كان x الملاصق لـ E يعني أن x هو حد ، بالمعنى المألوف لسلسلة معدودة من عناصر E . ويبدو هذا التعريف العام هكذا معقولاً .

وفي كل المرات التي يمكن فيها اعطاء تعاريف تبدو معقولة عن التلاصق وعن الاستمرارية ، يمكن أن نبني على هذين طوبولوجيا معيّنة . ولهذا تستحق 𝔈 و𝔉 تماماً اسم « الفضاءات الطوبولوجية » . وبالتأكيد ، كلما زاد فرض القيود على اختيار مجملات التسكير ، كلما زادت فرص الحصول على خصائص جديدة .

وعلى كلٍ ، يمكن تقديم مثل بسيط يتيح فيه هذا التعريف العام جداً تعميم مفهوم رئيسي ، دون أن تحد قيود جديدة هذا التعميم .

عدد الأبعاد ـ نستعمل عموماً تعريفاً لعدد الأبعاد في فضاء مجرد لا يعطي إلا أرقاماً محددة ، وبالتالي لا يطبق على كل الفضاءات المعتبرة في التحليل الوظيفي . في ما مضى اعطى م . فريشيه تعريفاً لعدد الأبعاد ، الذي يتيح تمييز عدة أرقام لا محدودة من الأبعاد وبالتالي يلعب دوراً مفيداً في التحليل العام .

نفترض B وA مجموعتين تنتميان تباعاً إلى فضاءين طوبولوجيين (بالمعنى العام جداً الموضح أعلاه) .

نقول أن عدد الأبعاد في A هو على أكثر تقدير يساوي عدد أبعاد B إذا كانت هناك هوميومورفية (أي تطابق مزدوج الفعالية ومزدوج الاستمرارية) بين A وB أو قسم من B ، وعندها نكتب $dA \leqslant dB$. ويكون لـ A وB نفس الأبعاد إذا كان لدينا ، فضلاً عن ذلك $dB \leqslant dA$ ، وإلا نكتب $dA < dB$.

فإذا كان ذلك نفترض R_n الفضاء الديكارتي ذا الأبعاد بعدد n ، وC فضاء الوظائف العادية المستمرة ، وL_2 فضاء وظائف المربع القابل للجمع مع طوبولوجياتها الكلاسيكية ، الخ . يمكن اثبات إنه إذا كان $dC > dR_p > dR_n; p > n$ بحيث أن يكون لـ C عدد لا متناهٍ من الأبعاد . فضلاً عن ذلك ، إنّ عدداً كبيراً جداً في الفضاءات ذات العدد اللامتناهي من الأبعاد ، والتي هي مدروسة جداً ، له نفس العدد اللامتناهي من الأبعاد : $dC = dL_2 = ...$ وأخيراً ، إنّ هذا العدد (اللامتناهي) من الأبعاد ليس هو الأكبر . وحتى في حالة عدد محدد من الأبعاد ، يتيح هذا التعريف تصنيفاً لمجموعات تتراوح أعداد أبعادها بين العددين الصحيحين n و1 + n .

التفاضلية ـ هنا ، بالعكس ، يجب اللجوء إلى طوبولوجيات أقل عمومية . ورغم أنه من الممكن توسيع هذا الحقل من الصلاحية ، فإننا نقيم في حالة التحول $X = F(x)$ حيث x وX تنتميان إلى فضاءين (اتجاهيين متباعدين) متمايزين أم لا .

ونقول أن $F[x]$ له تفاضلية عند $x_0 = x$ ، إذا وجدت وظيفية خطية $\mathfrak{L}[\Delta x]$ للتزايد Δx الحاصل لـ x بحيث يكون المعيار $\|\Delta F[x] - \mathfrak{L}[\Delta x]\|$ لا متناهي الصغر بالنسبة إلى المعيار $\|\Delta x\|$. وعندها تكون $\mathfrak{L}[\Delta x]$ تفاضلية $F(x)$.

وقد أشمل م . فريشيه ضمن هذه التفاضلية ، الخصائص الرئيسية التي للتفاضلية الكلاسيكية . وعلى أساس نفس هذا التعريف استطاع A. Michal ادخال الفضاءات المجردة ضمن نظرية المعادلات التفاضلية الكلاسيكية ، كما أن Nevanlinna ادخل عليها ملحقاً مهماً .

عندما تكون $F(x)$ قابلة للتفاضل بالمعنى السابق وإذا كان x وظيفة قابلة للتفاضل من معيار عددي t نحصل على $dF(x)/dt = \mathfrak{L}[dx/dt]$. إن هذه الخاصية هي التي اتخذها J. Hadamard كتعريف $F(x)$ في حالة تكون فيها F وظيفة عادية لنظام x من عددٍ متناهٍ من المتغيرات العددية . في هذه الحالة الخاصة ، يكون التعريفان متساويين . وقد وسع هذا التعريف من قبل M. Fréchet فشمل الحالة التي يكون فيها x وF ضمن فضاء اتجاهي متباعد . وهو [أي التعريف] ، في هذه الحالة ، أكثر عمومية ، ومميز عن السابق من ناحية إنه أكثر عمومية .

التكامل ـ وسع بوشنر Bochner تعريف تكاملية $X = F(x)$ فاشملها الحالة التي يكون فيها ، ليس x فقط بل X أيضاً عنصرين مجردين ، متميين إلى فضاءين اتجاهيين متميزين . وتعريفه هو مآل التعاريف الأكثر عمومية التي قال بها Lebesgue وStieltjes وRadon وFréchet .

وبالعكس استطاع بيتيس Pettis أن يعطي ، في هذه الفضاءات ، تعريفاً مختلفاً تماماً ، مرتكزاً على المعادلة : $I\mathscr{L}[F(x)] = \mathscr{L}I[F(x)]$ حيث I هي المتكاملة التي يجب تعريفها . وهي معادلة يجب توفيرها مهما كانت الوظيفية الخطية $\mathscr{L}(X)$.

هذان التعريفان يستعملان ، بصورة خاصة ، في حساب الاحتمالات لدراسة العناصر العشوائية من أيّ طبيعة كانت .

III ـ نظرية التوزيعات

(إن خلاصة تـطور نظريـة التوزيعـات تعود إلى J. L. Lions) . في نـظرية المعـادلات ذات المشتقات المخطية أو غير الخطية ، أثبتت ضرورة اعتبار « الحلول » التي ليست وظائف اشتقاقيـة ، بـالمعنى المعتاد ، من قبـل Leray وسوبـوليف Sobolev وFrédérichs . وSobolev هو الـذي فكـر بادخال المشتقات المعمّمة . واليكم موجز عن هذه الفكرة : فـوق المستقيم R ننظر إلى الـوظيفة f عندما تكون دوماً اشتقاقية . ونفترض f' ، مشتقها ؛ ثم نفترض فيما بعد وظيفة φ أيضاً عندما تكون دوماً اشتقاقية ، ويكون مشتقها φ' ، باعتبار φ معدومة خارج متراص من R ؛ عندها :

$$\int_R f'\varphi\, dx = -\int_R f\varphi'\, dx$$

لنعتبر الآن الوظيفة f محلياً قـابلة للجمع فـوق R (وإذاً عمومـاً غير اشتقـاقية) . نـلاحظ مع ذلك أن الشق الثاني من المعادلة المذكورة أعلاه هو دوماً محدد ، من هنـا فكرة أن الشكـل الخطي الوظيفي الذي يعـطي لـ φ الوظيفـة $-\int_R f\varphi'\, dx$ ، يجب ، بشكل من الأشكال ، ان يحدد تعميماً للمشتق المعتاد لـ f وبالتالي تحديد f لا كوظيفة بل كعنصر من فضاء أوسع ـ كوظيفة معممة .

إن ضرورة ادخال كائنات جديدة أكثر عمومية من الوظـائف الكلاسيكيـة يتم أيضاً الشعـور به في العديد من الفروع الأخرى من الرياضيات : نظرية السطوح المعممة (يونـغ L. C. Young) ، التحليل الهارمونيكي (Bochner) الفيزياء النظرية والحساب الرمزي (« وظيفة » ديراك Dirac) .

وعلى كـلٍ ، وأثناء بـدايات بحـوث Sobolev في هذا الاتجـاه ، لم تكن النظريـة المجـردة للفضاءات الموجهة الطوبولوجية ، بعد ، مـوضّحة تمـاماً بحيث يمكن استخـلاص مفهوم الـوظيفة المعممة إلا من خلال حالات خصوصية . وإلى L. Schwartz (1945) يعود التعريف العام للوظـائف المعممة أو التوزيعات ، كأشكال خطية مستمرة في فضاء الوظائف التفاضليـة إلى ما لا نهـاية وذات السند المتراص ، هذا الفضاء ـ وهنا نقطة أساسية ـ مزود بطوبـولوجيـا ذات حد حتي من فضـاءات Fréchet . ودرس L. Schwartz بشكل مفصّل ، بعـد ذلك ، هـذه الكائنـات الجديـدة ـ القريبـة ، فضلاً عن ذلك ، من عوامل Mikusinsky ـ فحصل على القاعدة المهمة جداً حول النوى .

وتؤكد هذه القاعدة ـ بشكل مختصر ـ بـأن كل تـطبيق خطي مستمـر لفضاء وظيفي E (فـوق فضـاء إقليـدي X) ضمن فضـاء وظيفي F (فوق فضـاء إقليـدي Y) يعبـر عن نفسـه ، وبشكـل وحيد ، بالمعادلة :

$$Ue(x) = \int_Y N(x, y)\, e(y)\, dy$$

وفيهـا : $Ue \in F, e \in E$ وحيث N (x, y) (نواة تـطبيق U) هي تـوزيـع على الفضـاء حصيلة ضرب X بـ Y .

إن هـذه القـاعـدة هي نقـطة الانـطلاق في بحـوث غـروتنـديـك A. Grothendieck حـول

« الفضاءات النووية » ؛ ومن جهة أخرى طوّرت افكار L. Schwartz وأكملت من قبل غلفاند Guelfand ومدرسته في الاتحاد السوفياتي .

وهناك عائق في هذه النظريات هي انها خطية ؛ وقد جرت محاولات متنوعة من أجل مضاعفة التوزيعات ـ وبشكل خاص تحت تأثير الفيزيائيين النظريين ـ ولكن النجاحات في هذا الاتجاه كانت محدودة .

وبالمقابل ، وفي المسائل الخطية المتعلقة بالمعادلات ذات المشتقات الجزئية وهي معادلات متكاملة ، في نظرية الزخم وفي نظرية الاجزاء المتناهية المسنوبة إلى Hadamard والحلول النموذجية (أو الأساسية) في نظرية حصيلة التركيب ، وفي تحويل Fourier وLaplace ، في التحليل الهارمونيكي ، وفي نظرية تمثيلات زمر Lie وفي النظرية المجردة حول الفضاءات الموجهة الطوبولوجية ، كانت تطبيقات النظرية المستحدثة كثيرة العدد سابقاً ، ولكنها غير مستنفدة على الاطلاق .

الفصل السابع

الجيومتريا

عرف القرن التاسع عشر تقدماً ملحوظاً في الجيومتريا .وأدت أفكار كلاين F. Klein وهـ. بوانكاريه ، بشكل خاص ، إلى تصنيف الجيومتريا تصنيفاً بدا خصباً .

الجيومتريا هي دراسة خصائص الأشكال التي لم تشوه بالتحولات من زمرة G ،- أي من مجموعة تحولات بحيث إذا تمّ على التوالي اجراء اثنتين من هذه التحولات T وT' نحصل على تحول (حصيلة T' T) ينتمي أيضاً إلى المجموعة . وفضلاً عن ذلك ، ان عكس (T^{-1}) التحول ينتمي أيضاً إلى المجموعة (مفهوم منسوب إلى Galois) . إن الزمرة G هي الزمرة الرئيسية أو الأساسية في الجيومتريا المدروسة . وهكذا تكون الزمرة الأساسية في الجيومتريا المترية هي زمرة التنقلات . وان أعدنا الفضاء إلى نظام مجسّم ثلاثي الزوايا القائمة ، وإن أخذنا نفس الوحدة القياسية على المحاور الثلاثة ، فإن تحولات الزمرة يعبر عنها بنفس الصيغ التي تعبر عن تحولات الإحداثيات . ان المجموعة الأساسية في الجيومتريا الاسقاطية هي مجموعة الهوموغرافيات ؛ إنها مجموعة الاستبدالات الخطية التي تتناول أربع متغيرات متسقة .

في الأمثلة السابقة ، بدت الزمر المدروسة مستمرة ، أي أن الكميات التي تدخل ضمن معادلات التحولات قد تتغير بشكل مستمر . وقد تم أيضاً درس زمر أخرى .

في سنة 1866 ، أدخل كريمونا Cremona التحولات الثنائية الجذر .

إنها تحولات توفق عموماً بين نقطة ونقطة واحدة فقط ، والعلاقات بين نقطتين قريبتين يُعبر عنها بوظائف جذرية . وتشكل هذه التحولات زمرة ، ولكن كما تظهر في معادلات التحولات اعداد صحيحة ، فالزمرة تكون غير مستمرة . والجيومتريا التي تكون زمرتها كزمرة أساسية هي الجيومتريا الجبرية . وهي تقوم على توزيع الرسوم إلى طبقات ، ويعتبر رسمان من نفس الطبقة ، إذا أمكن الانتقال من احدهما إلى الآخر بتحول ثنائي الجذر . ويتوجب عندها تمييز كل طبقة « بنموذج اسقاطي » .

ولكنّ الجيومتريين ذهبوا إلى أبعد من ذلك . فوضعوا في نفس الطبقة الكائنات الجيومترية ، بحيث يمكن الانتقال من واحد إلى آخر بتحول ثنائي الجذر ، دون أن يكون هذا التحول قادراً على الامتداد إلى الفضاءات المجاورة . وعلى هذا فالمنحنى الجبري الأيسر واسقاطه فوق سطح ينتميان عموماً إلى نفس الطبقة . ضمن هذه الزاوية تعتبر دراسة المنحنيات الجبرية من صنع القرن التاسع عشر ، ولكن دراسة السطوح الجبرية لم تكن أبداً قد انتهت . وعولجت المسألة ليس فقط عن الطريق الجيومتري ، بل أيضاً بواسطة الوسائل التحليلية وخاصة من قبل Picard وهمبرت G. Humbert وفيما بعد من قبل H. Poincaré .

وتعزى وجهة النظر الجيومترية ، بصورة رئيسية ، إلى M. Noether وC. Segre وبرتيني E. Bertini وإنريكس F. Enriques وكاستلنوفو G. Castelnuovo وسيفيري F. Severi . أما « نظرية الوظائف الجبرية لمتغيرين مستقلين » والتي قال بها É. Picard وسيمار G. Simart (مجلدان ، باريس 1897 - 1906) فتحدد ما قدمه القرن التاسع عشر .

وركز Riemann الجيومتريا على مفهوم المسافة . هذه الجيومتريا لا تدخل ضمن تصنيف Klein وPoincaré . وهذه الثغرة استدركها فيما بعد Élie Cartan . أما الجيومتريا المتناهية الصغر ، التي أسسها جيومتريو « الثورة الفرنسية » (مونج Monge ومونييه Meusnier ودوبان Dupin الخ) ، من جهة ، وغوص Gauss من جهة أخرى ، فقد أصابها في القرن التاسع عشر تطور ضخم . وهذ التطور تثّبت في « دروس حول النظرية العامة للسطوح » التي وضعها G. Darboux (باريس 4 مجلدات 1887 - 1896) وفي « الجيومتريا التفاضلية » من وضع ل . بيانكي L. Bianchi (بيزا ، مجلدان 1902 - 1903) .

الجيومتريا الاسقاطية ـ وضعت الجيومتريا الاسقاطية في القرن التاسع عشر في فضاء ذي عدد غير محدد من الأبعاد . يمكن بناء فضاء اسقاطي ذي n بعد بالنظر إلى مجملات منتظمة اعدادها n + 1 ، متناهية وليست كلها معدومة . مثل هذا المجمل يسمى نقطة أما الاعداد n + 1 فهي احداثياته المتجانسة . وقد تم الاصطلاح على أن نقطتين تتطابقان إذا تناسبت إحداثياتهما . ومجموع هذه النقاط هو فضاء اسقاطي ذو n بعد ، والكتلة الأساسية هي مجموعة الهوموغرافيات ، أي مجموعة البدائل الخطية المتجانسة المحمولة فوق الإحداثيات .

في البداية كانت تنتمي الإحداثيات ومعاملات الهوموغرافيات إلى حقل الاعداد الحقيقية أو الاعداد المعقّدة ؛ وفيما بعد تم بناء جيومتريات تنتمي اعدادها المستعملة إلى أي حقل . وعلى هذا تم بناء هندسة كواترنيونية [الكواترنيون يعني في الرياضيات عدداً شديد التعقيد متكوناً من اجتماع أربعة أعداد عادية ، تؤخذ ضمن ترتيب محدد وتتمازج وفقاً لبعض القوانين] وجيومترية هرميتية (نسبة إلى هرميت Charles Hermite 1822 - 1901) ، الخ .ونُظِر أيضاً إلى الجيومتريا المستقاة من الجيومتريا المعقدة بادخال تحول المتزاوجات ، هذا التحول الذي يطابق نقطة ما مع نقطة تكون إحداثيتاها الخياليتين متزاوجتين مع إحداثيتي النقطة الأولى (كومساتي A. Comessatti ، E. Cartan) .

إن الجيومتريات الاسقاطية المبنية فوق حقل من الاعداد تجد تطبيقاً لها في جيومتريات الزمر المنتهية المنسوبة إلى Lie ، وهي زمر صنفت من قبل Lie وكيلينغ Killing وخاصة من قبل E. Cartan . والمشكلة المطروحة هي بناء جيومتريا تكون زمرتها الأساسية إحدى زمر Lie . لا شك بوجود عدد لا حدَّ له من الحلول والمهم هو اختيار ابسطها . هذه الزمرة المحلولة في حالة الزمر البسيطة ، من قبل E. Cartan ، كانت موضوع بحوث من قبل H. Weyl وحديثاً من قبل شوفالي Chevalley وتيتس Tits .

وهناك بحوث أخرى في الجيومتريا الاسقاطية في المجال المعقد ، تتناول دراسة الكائنات الجبرية ، وخاصة التمثيل بواسطة نماذج من الاشكال الجبرية المعادلة للصفر . هذه المسائل ، وكذلك المسائل التي تتناول منوعات C. Segre ، وهي حاصلات ضرب العديد من الفضاءات الخطية ، تبدو مفيدة في الجيومتريا الجبرية .

الجيومتريا الجبرية ـ كما سبق القول عولجت دراسة السطوح الجبرية بالطريقة التجاوزية (متكاملات Picard والمتكاملات المزدوجة) وبالطريقة الجيومترية (عمليات تتناول أنظمة المنحنيات المرسومة فوق سطح) . وعملت بعض المؤشرات على الظن بأن السطوح التي تحتوي على متكاملات Picard من الصنف الأول تتطابق مع السطوح المتضمنة أنظمة مستمرة غير خطية من المنحنيات . ان الجهود المتزاوجة التي بذلها بيكاردو همبرت وبصورة خاصة F. Enriques وCastelnuovo وSeveri أدت إلى نتيجة ليست فقط نوعية ، بل كمية أيضاً (1905) . وفيما بعد (1910) ، اثبت H. Poincaré بطريقة تجاوزية هذه النتيجة ، وكانت هذه التصوّرات نقطة الانطلاق في بحوث Lefshetz المهمّة .

ووسعت الجيومتريا الجبرية حتّى شملت أنواعاً ذات أبعاد عدة . وطرحت مسألة : في طبقة من المنوعات الجبرية ، هل يوجد نوع مجرّد من النقاط الفريدة ؟ بالنسبة إلى المنحنيات ، يكون الجواب التأكيدي سهلاً ؛ وفيما خص السطوح يكون أصعب بكثير وقد قدمه B. Levi . وبالنسب إلى الأنواع من ذوات الأبعاد الثلاثة ، فهي تعزى إلى وولكر Walker ، ولكن جهود الجيومتريين لم تنجح في تجاوز هذه المرحلة .

وهناك مسألة أخرى تقوم على دراسة المنوعات الجبرية ذات النقاط التي تكون إحداثياتها وظائف جذرية للبارامتر [البارامتر هو عنصر ثابت في عملية فكرية ما ، وفي المعادلات هو الحرف ، غير المتغير ، والذي يمكن اختيار قيمته العددية وإبقاؤها ثابتة] . وعندما يكون المتنوع منحنىً فهو جذري (كليبش Clebsch) ؛ وإذا كان سطحاً فهو أيضاً جذري (Castelnuovo) ، ولكن التبيين يستنجد باعتبارات أعلى بكثير . وعند الانتقال إلى المنوعات ذات الأبعاد الثلاثة ، تدل بعض الأمثلة ان المتنوع ليس بالضرورة جذرياً . ان هذه المسألة تقترب من مسألة تحديد شروط جذرية المتنوع الجبري . وقد حلت هذه المسألة بالنسبة إلى سطوح Castelnuovo ، ولكن البحوث المفيدة التي قام بها فانو Fano حول المنوعات ذات الأبعاد الثلاثة دلت على عظم تعقيداتها .

إن الدراسة الجيومترية للسطوح الجبرية ، والتي وضع قواعدها Enriques ، في أواخر القرن التاسع عشر ، قد تـوبعت من قبل الجيـومتـريين الإيـطاليين (Enriques وCastelnuovo وSeveri وتـلاميذهم) ؛ وكـان هدفهـا الـوصـول إلى تصنيف للسـطوح . ولكن عنـدمـا يتم الحصـول على خصـائص سطح مـا ، فمن الواجب اثبـات وجوده وذلـك ببناء نمـوذج اسقاطي لـه . هذه المسـألة استرعت انتباه العديد من الجيومتريين ، وقدمت نظرية الترقية أو التضامن [involutions وهي تعني هوموغرافية متعاكسة أي التحول الدقيق وفيـه تكون صـورة كل مستقيم مستقيمـاً آخر (التـرجمة)] ضمن سطح جبري نتائج عدة .

عندما نسقط سـطحاً جبـرياً f (x, y, z) = 0 ، من نقـطة في اللانهـاية من Oz فـوق سطح x, y نحصل على ما يسمى بالسطح المضعَّف ، والمحيط الـظاهر يسمى منحنى التشعُّب (diramation) في سطح مضعَّف . وبالـطبع نعـطي لأنفسنا أيضـاً بدائـل الوظيفـة z = z (x, y) في جوار نقـطة من المنحنى . وقد جذبت هذه المسألة انتباه Enriques ، وشيزيني Chisini وتلاميذه . وكانت بـالنسبة إلى Chisini فرصة لاعطاء تمثيل أنيق وطوبولوجي للمنحنيات الجبرية .

إن نظرية الوظائف الابيلية قابلة للتأويلات الجيومترية ؛ وعلى هذا أدخـل Picard المنوعـات التي تكون إحداثيات نقاطها وظائف آبيلية (نسبة إلى Abel) . هذه المنوعات تدخل بالطبع ضمن نظرية السـطوح كممثلة للأنظمة الخـطية المنتميـة إلى نظام مستمـر من المنحنيات المـرسومـة فوق سطح غير منتظم (Castelnuovo) ؛ وقد سميت بمنوعات Picard . والحالة التي تكـون فيها منـوعة Picard سطحاً قد درست جيومترياً من قبل Enriques وSeveri ، وتحليليـاً من قبـل بانييـرا Bagnera ودي فـرنشيس De Franchis (ويجب التـذكيـر هنـا بـدراسـات G. Humbert حـول سـطح كـومـر Kummer) . وإلى جـانب بحـوث Castelnuovo وLefschtz المهمَّـة استعمـل كـوتي Cotty ، سكورزا G. Scorza وروزاتي Rosati التمثيلات الفضائية للمتكـاملات الابيليـة وحلقاتٍ من سـطح Riemann بدت [أي الحلقات] مثمرة . وحديثاً جداً قدم سيغل Siegel وكونفورتو Conforto وفيل A. Weil مسـاهماتٍ جديدة لدراسة هذه الوظائف .

في البحوث السابقـة ، كانت الأرقـام المدروسـة معقدةً ، ولكن تم أيضـاً النظر في الأقسـام الحقيقية من الكائنـات الجبريـة . هذه المسـألة ، التي طـرحها هـارناك Harnack وHilbert ، قـد درست في حـالة المنحنيـات من قبل بـروزوتي Brusotti ، وفي حالـة السطوح من قبـل كوميسـاتي Comessatti وتـلاميذهمـا . وقد حصلوا على نتـائج مفيـدة تمامـاً . وقـد درس Comessatti أيضـاً المنوعات الابيلية الحقيقية .

إن نظرية المتنوعات الجبرية قد هوجمت من خلال طرق أخرى . إحدى هذه الطرق ، ترتبط بنظريات الجبـر الحديث . وهي تـرتكز على قـاعدة Hilbert وبمـوجبها يعبـر عن السطوح الزائدة (Hypersurfaces) ، التي تحتوي منوعة جبرية معينة في فضاء اسقاطي معقد ، خطيـاً بواسـطة عدد محدد منها (نظريات حلقات متعددات الحدود) .

من جهة أخرى بنى Chevally وA. Weil وزاريسكي Zariski ، خاصة ، الجيومتريـا الجبريـة على أسس جديدة ، محاولين ادخال مزيد من الـدقة في التحليـلات العقلية . وفي بعض من هـذه الأعمال ، يضع الباحث نفسه في حقل من أيّ نوع .

الجيومتريـا المتناهيـة الصغر والجيـومتريـا الاسقاطيـة التفاضليـة ـ من المسائل التي لفت الانتباه إليها Darboux وBianchi هي مسـألة بـلاتو Plateau ؛ وتقـوم هذه المسـألة على البحث عن سطح أصغر يمر بإطـار معيّن (سطوح محقّقـه فيزيـائياً من قبـل Plateau بواسطة سوائـل ممزوجـة بـالغليـسرين) . ودرست هـذه المسألـة من قبـل S. Bertein وهـار Haar وGarnier وحلّهـا رادوس Rados ودوغلاس Douglas .

إن نظرية المجسم الثلاثي المتحرك ، والتي ادخلها ريبوكـور Ribaucour قد استخـدمت من قبل Darboux بنجاح كبير في دارسة المنحنيات والسطوح . وقدم دومولان Demoulin توسيعات لها فاشملها الفضاءات المتوافقة والاسقاطية ؛ وقدم تعميمـات عنها بصـورة أوسع E. Cotton وخـاصة E. Cartan الذي طبق عليها نتائجه حول بنية الزمر المستمرة .

إن تشويه السطوح كان موضوع العديد من التعميمات .

يُنْظر في الفضاء إلى زمرة أساسية G وإلى سطحين S وS′ . وإذا أمكن إحداث تطابق حـرفي بين S وS′ ، بحيث يمكن حمل جزءين لامتناهيي الصغر ومتمـاثلين في السطحين ، على التـطابق مع الـلامتناهيـات الصغر من مـرتبة K + 1 تقـريباً ، بـواسـطة تحـويـل في G (متغيـر بتغيّـر الأجـزاء المدروسة) ،عندها يقال إن S وS′ مشوهان من مرتبة K احدهما عن الآخر ، بالنسبة إلى المجمـوعة G . وإذا كانت G هي مجموعة التنقلات ، وإذا كـانت K = 1 ، عندهـا نعثر على السـطوح القابلة للتطبيق .

ونظر فوبيني Fubini بالحالة التي تكون فيها G المجموعة الاسقاطيـة وحيث K = 2 ؛ عندهـا يقال ان السطحين S وS′ متطابقان اسقاطياً . وبين E. Cartan انه خارج السـطوح المنتظمـة ، تكون السطوح المتطابقة استثنائية . انها سطوح بؤرية لبعض التطابقات W . وفيمـا بعد وسّـع G. Fubini وخصوصاً كارتان هذه الافكار فاشملاها المنوعات من ذوات أكثر من بعدين .

ولـدت هذه المسـائل فـرعاً في الجيـومتريـا اللامتنـاهية الصغـر سمّـي جيومتـريا اسقـاطية ـ تفاضلية ، وفيها تكون المجموعة الأساسية هي المجموعة الاسقاطية . وحقيقية القـول ان الكثيـر من المسائل المعالجة في الجيومتريا اللامتناهية الصغر الكلاسيكية تدخل في نطاق هذه الجيومتـريا الجـديدة . من ذلـك مثـلاً نـظريـة الخـطوط المقـاومـة ، ونـظريـة تحـولات لابـلاس Laplace ، والتطابقات W ، الخ .وبعد 1908 ، وضع فيلتشنسـكي Wilczynski أسس هذه الـنظرية ، التي تـابع دراستها كل من Fubini وتشيك Cech وتيراسيني Terrachini وبومبياني Bompiani وسيغر B. Segre وبول Bol وغوردو Gordeaux ، الخ .ويمكن أيضاً تضمين هذه الجيومتريا دراسات اقدم قـام بها C. Segre .

لاعطاء فكرة عن المسائل المدروسة ،نظر في سطح (x) منسوب إلى مقاربيه u,v . ونفترض U,V النقطتين اللتين تمثلان المماسين في نقطة x مع الخطين u,v فوق Hyperquadrique [مربع الابعاد] Q المنسوب إلى Klein . ان النقطتين U,V هما متحولا لابلاس Laplace احدهما على الآخر (تزيتزيكا Tzitzeika وBompiani) ؛ هاتان النقطتان تحددان سلسلة لابلاس L الذاتية الاستقطاب بالنسبة إلى Q ، وهذا يتيح ربط النقطة x بسلسلة من التربيعات أولاها تربيعة Lie . ان مولدة التطابق W التي يشكّل (x) سطحاً بؤرياً لها ، تمثل بنقطة على المستقيم UV راسمة شبكة متزاوجة مع المماثلة (Darboux)(UV) .وإذا كانت المتابعة L تقف عارضة حالة Laplace ، فهي تقف من الجهة الأخرى مقدّمة ، بشكل عام ، حالة Goursat . نذكر أيضاً ان Terracini قد حدد كل السطوح التي تنتمي مقارباتها إلى معقدات خطية .

حتى في الجيومتريا المترية قد تقدم التمثيلات فوق الفضائية خدمات كبرى كما بين ذلك فنتشنسيني Vincensini في دراسة تحول Lie .

ويمكن أن نربط بالجيومتريا الاسقاطية التفاضلية بعض بحوث فيلاّ Villa وتلاميذه . لو وجد بين فضاءين تحول دقيق واذا كانت P وP' نقطتين متماثلتين ، تبنى التحولات الثنائية الجذور التي تقارب التحول المعين ، في جوار P ، P' ، حتى أعلى مرتبة ممكنة .

وأدت بحوث C. Segre المذكورة أعلاه إلى دراسة المنوعات التي لنقاطها إحداثيات ترضي نظاماً معيناً من المعادلات ذات المشتقات الجزئية (Terracini و Bompiani وتوغلياتي Togliatti ، الخ) ؛ وقد أدى هذا إلى تعميم التقاربيات ، والانظمة المتزاوجة وتحول لابلاس (بومبياني وسيغر) . ونذكر هذه الخصوصية العجيبة المنسوبة إلى بومبياني : ان السطح الجذري الحاصل اسقاطياً ، من ردّ المنحنيات السطحية من مرتبة n إلى « السطوح الزائدة » في فضاء ذي أبعاد n(n/2) (3+ ، يتلاءم مع نظام من المعادلات ذات المشتقات الجزئية يميز هذا السطح الجذري .

وعمم Bompiani نظرية Riemann حول السطوح معتبراً أنّ خصائص متنوعة لا متغيرة بالنسبة إلى التشوهات التي تحفظ اطوال الاقواس وحتى مرتبة ما ، انحناءات المنحنيات المرسومة فوق المتنوعة .

وادخل فرانسيانو Vranceanu دراسة السطوح التي سماها «انهولونوسية » (غير تامّة التقييد ، anholonomes) ، والتي تنضم ، في فضاء ذي أبعاد بعدد n ، إلى نظام غير قابل للحلّ تماماً مؤلف من (n − 2) من معادلات Pfaff . وقدم بورتولوتي E. Bortolotti وهلافاتي Hlavaty وماكسيا Maxia مساهمات مهمة في هذه المسألة .

جيومتريات Cartan ـ نبّهتْ « النسبية العامة » الجيومتريين إلى النظرية الجيومترية حول المتنوعات . فظهرت مفاهيم جديدة إلى الوجود تعزى بشكل رئيسي إلى E. Cartan و- T. Levi Civita وH. Weyl . ان المتنوعات المدروسة هي على العموم من متنوعات Riemann ؛ وهي تفترض غارقة في فضاء إقليدي ذي عدد مرتفع بما فيه الكفاية من الابعاد .

وادخل Levi - Civita مفهوماً عن الموازاتية يمكن تفسيره ، في حالة السطح ، بالشكل التالي : نفترض B وA نقطتين في سطح S ، و ℓ خطاً بينهما على السطح . والمتطورة المحيطة بـ S على طول l يمكن تطويرها فوق السطح المماس لـ S عند A . وتحتل النقطة B موقعاً 'B . نرفع من A مماساً a لـ S ، عندها يكون الموازي 'b المجرور من 'B إلى a محدداً تماماً . وبالعودة إلى S ، فمع الاتجاه 'b يتطابق اتجاه b مماس لـ S عند B . وهذا هو موازي ليفي ـ سيفيتا لـ a عند B . إن هذا الموازي يتعلق عموماً بالطريق l ، إلا إذا كانت ℓ « جيودزيك » [خطاً متقاصراً] للمتنوعة . إنّ زاوية الاتجاهين تظل محفوظة دائماً . وأخيراً إذا كان الاتجاه b مستقلاً عن ℓ دائماً ، فالمتنوّعة تكون اقليدية . ويمكن تلخيص تصور Elie Cartan بما يلي : يتصور Cartan مستمرة V ذات أبعاد n ، وعند كل نقطة A من هذه المستمرة يربط فضاء S_n يحتوي A ، وفيه تستقر جيومترية زمرة (مستمرة) وأساسية G . فضلاً عن ذلك : إذا كانت A و B نقطتين قريبتين إلى ما لا حد له من V ، يحدث تحول في المجموعة G ، يتيح الانتقال من الفضاء S_n إلى الفضاء S_n . والقسم من V المجاور تماماً لـ A يمكن بالتالي أن يُشبه ، بفارق متناهيات صغر في المرتبة الثانية تقريباً ، بفضاء من الزمرة الأساسية G . وإذا كانت C نقطةً من V و ℓ طريقاً بين A و C مرسومة فوق V ، يمكن وصل الفضاءين S_n وS_c بنوع من المكاملة على طول ℓ ، ولكن هذا الوصل يتعلق عموماً بـ ℓ . وبالنظر إلى الطرق المنطلقة من A والعائدة إليها ، يحصل لدينا سلسلة من الاتصالات من S_n مع نفسها ، تترجم بتحولات من الزمرة G . هذه التحولات تشكل زمرة فرعية g مستمرة من G ، يسميها Cartan زمرة « هولونومية » (تامّة التقييد) . أما المستمرة V فتكون فضاء غير هولونومي في الزمرة الأساسية G . ان الزمرة الفرعية g يمكن بالتأكيد أن تتطابق مع G أو مع التطابق . وفي هذه الحالة الأخيرة تكون V فضاء هولونومياً في الزمرة G .

وضم التصور الملهم عن Cartan إذاً مفهوم Klein كحالة خاصة ، ولكن جيومتريات Riemann تدخل ضمن مفهوم Cartan . أما الجيومتريا الدقيقة عند H. Weyl وادنغتون Eddington فتدخل أيضاً كحالات خاصة من الجيومتريات الكارتانية ، ولكن في هذه الحالات ، تترك الزمرة g النقطة A ثابتة . وبنى Cartan الجيومتريات التي تكون الزمرة G بالنسبة إليها زمرة تنقلات ، أو الزمرة الاسقاطية أو الزمرة المطابقة ، وهناك العديد من التطبيقات قد حدث .

وجرت بحوث عدة حول منوعات Riemann بالارتكاز على الحساب التفاضلي المطلق عند ريتشي Ricci بشكل خاص . ويجدر هنا ذكر شوتن Schouten وفبلن Veblen ، الخ .

ووضع فنسلر Finsler جيومترية متخذاً كـ ds شكلاً متسقاً من الدرجة الأولى ، محدداً وإيجابياً ، عن تفاضليات المتغيرات المستقلة . ووضع E. Cartan ، بعد دراسة لهذه الجيومترية ، جيومترية أخرى مرتكزة على مفهوم المساحة .

الطوبولوجيا والجيومتريا التفاضلية الشاملة ـ يمكن أن تتخذ ، كمجموعة أساسية في الطوبولوجية أو تحليل الوضع Analysis situs ، مجموعة التغيرات المزدوجة التطابق biunivoque [: في الرياضيات : التطابق بين عناصر مجموعتين يكون بحيث يتطابق كل عنصر مع

عنصر واحد فقط من المجموعة الثانية] ، المستمرة بالاتجاهين . والبحوث الطوبولوجية في القرن التاسع عشر مزروعة بسطوح Riemann وباعداد Betti وبخمس مذكرات شهيرة وضعها Poincaré . ان هذا الفرع من الهندسة ، الذي هو في أساس أغلب النظريات الرياضية ، قد ازدهر كثيراً في القرن العشرين . ويمكن أن نذكر أعمال Brower ، وكركيارتو Kerekjarto وهوف Hopf و Veblen و Lefschetz والكسندر Alexander والكسندروف Alexandrov وزايفرت Seifert وثرلفول Threlfall و Cech وكولموغوروف Kolmogorov وبونترياغين Pontriaguine وإكمان Echmann الخ . وظهرت معالجات متوسطة الحجم مثل وسيط كل من Veblen و Alexandrov و Seifert و Threlfall . ولكن يجب ذكر الأعمال الجليلة لتي قام بها J. Leray الذي عاد إلى المسألة من أساسها فعمم المفاهيم التي أدخلت قبله وعرض الطوبولوجيا الجبرية بشكل يسهّل تطبيقاتها . وقد أتاحت نظريته حول الحزمات خاصة ، بحوثاً جديدة حول المنوعات التحليلية (H. Cartan ، وأوكا Oka ، شتاين Stein كوذايرا Kodaira)وحول الجيومتريا الجبرية(Serre وغروتنديك Grothendieck) . ونذكر ان بحوث Élie Cartan حول التعادل المرتكز على نظرية اشكال Pfaff تساعد على اكتشاف الشروط الضرورية والكافية لوجود بعض التمثيلات الطوبولوجية ، في حين ان الطرق الطوبولوجية تتيح فقط وضع الشروط الضرورية .

ويمكن ربط الطوبولوجيا بالجيومتريا التفاضلية الشاملة كما بناها بشكل خاص ارسمان Ehresmann وشرن S. Chern وليشنروفيتش A. Lichnerowicz . ونكتفي ببعض الاشارات لتفهيم طبيعة المسائل المعالجة . ننظر إلى منوعة طوبولوجية V ذات أبعاد (n) ، في كل نقطة فيها يمكن اشراك جوار هوميومورفي [مُتشاكل طوبولوجياً] مع كرة ملآنة ذات أبعاد n (أو مع مكعب ملآن ذي ابعاد n) . وهذا يعني افتراض أنّه عند كلّ نقطة من الجوار تُشرك إحداثيات (n) حقيقية . نفترض وجود نظام جواري يغطي تماماً المتنوعة ، وانه ، إذا كان هناك نقطة ذات جوارين ، فان احداثيتي أحدهما تعتبر وظائف لاحداثيتي الآخر ، على أن لا يكون يعقوبي هذه الوظائف عدماً . واذا قبلت هذه الوظائف مشتقات حتى المرتبة p ، نحصل عندها على أطلس للمتنوعة قابل للتفاضل حتى المرتبة p .

والمفهوم الذي يتدخل في هذه الجيومترية هو مفهوم المتنوعة الخيوطية .

فالمتوعة V ذات الابعاد (m) تسمى خيوطية عندما يمر في كل نقطة منها متنوعة F (الخيط) ، على أن تكون هذه المتنوعات F كلها هوميومورفية (متشاكلة طوبولوجياً) . والمجموعة المجردة لهذه المتنوعات F هي متنوعة ذات أبعاد (n) تسمى « متنوعة ـ أساس » لـ V (أنظر الفصل الثاني من هذا القسم) .

إن طبيعة هذه التعاريف توحي بأن أفكار É. Cartan تلعب دوراً كبيراً في هذه الجيومتريا . ومن جهة أخرى ، ان تطبيقاتها كثيرة خاصة في حساب التغييرات (ديدكر Dedecker) .

بحوث أخرى ـ عند درس مطلق كائن جيومتري ، نضع على العموم عدداً من الفرضيات تسمى فرضيات التيسير . هكذا في الجيومتريا المتناهية الصغر ، نفترض عموماً ان كل مشتقات

الـوظائف ، التي تتـدخل في البحث مـوجودة ومستمـرة . ولكن يمكن طرح السؤال حـول معـرفـة الفرضيات النافلة بالضبط ؛ وهي مشكلة صعبة على العموم قد استرعت انتباه الجيومتريين .

ويمكن تمييز الجيومتريا المتناهية التي وضعها الجيومتري الدانمـركي يول Juel بـالقول انهـا تبحث في خصـائص الكائنـات الجبريـة المـوجـودة عنـدمـا نقلع عن الجبـريـة (algebricité) [أي الاسترسال في ادخال الجبر في كل مجال] . في القرن العشرين ، طورت هذه الجيـومتريـة بشكل خاص من قبل P. Montel ومارشوه A. Marchaud وهويت O. Haupt .

وتمّ التساؤل أيضاً عن ماهية خصائص الجيومتريا اللامتناهية الصغر الكلاسيكية والتي تتواجد عندما لا نفترض وجود بعض المشتقات . هذه المسائل درست من قبل A. Marchaud وبوليغان G. Bouligand ، الذي سمى هذه النظرية بالجيومتريا اللامتناهيـة الصغر المبـاشرة . وقـد طورت هـذه المسائل بشكـل ضخم ، حديثـاً من قبل المـدرسة الـروسية بقيـادة A. Alexandrov وبوغـوريلوف Pogorelpov ومن قبـل المدرسـة الاميركيـة بقيادة بـوسمان H. Busemann ، وكلهم عـالجوا أيضـاً بنجاح مسائل الجيومتريا الشاملة عبر هذه الطرق « المباشرة » .

الفصل الثامن

حساب الاحتمالات وتطبيقاتها

بخلال القرن العشرين ، تجدد حساب الاحتمالات بشكل عميق ، خاصةً بفضل ادخال الافكار الأساسية في التحليل ، وبفضل تدخل نظرية المجموعات وقياسها وشيوع استعمال التحليل الوظيفي والفضاءات العامة .

وبغية توضيح صورة الفكر الاحتمالي الذي سوف نعالج ، بدا لنا انه من المناسب الاشارة ، بالنسبة إلى مختلف البلدان ، إلى العلماء الذين أتوا بالحوافز الرئيسية ، التي طورت فيما بعد من قبل تلاميذهم ومن قبل علماء الاحتمالات في العالم أجمع .

رؤساء السلسلة في المدرسة الاحتمالية ـ في روسيا ، ثم في الاتحاد السوفياتي ، بقي البحث في هذا المجال ناشطاً . ورث آ . ب . تشيبشيف A. P. Tehébychev و آ . ماركوف A. Markov كلاً من برنشتين S. Berstein وسلوتسكي Slutsky وكنتشين Kintchine وكولموغوروف Kolmogorov وبتروفسكي Petrovski .

في انكلترا قامت مدرسة احصائية ناشطة على يد كارل بيرسون Karl Pearson وايغون . س . بيرسون Egon S. Pearson وج . أودني يول G. Udny Yule ور . آ . فيشر Fisher (سير رونالد) مع مدرسة نيمان روذامستد Rothmasted ، التلميذ القديم لِـ س . برنشتين S. Bernstein الذي اشتغل طويلاً في لندن قبل أن يستقر في الولايات المتحدة . وهناك مدرسة أخرى ، يمثلها رامسي Ramsey وجفريس Jeffreys وكينس Keynes اهتمت بأسس حساب الاحتمالات وبمنطق المحتمل .

وتعبّر المدرسة القوية ، « الاحتمالية والاحصائية » ، في الولايات المتحدة الاميركية ، الحديثة العهد نسبياً ، عن نفسها من خلال مجلة (حوليات الاحصاءات الرياضية) وهي مجلة أسست سنة 1930 . أهم ممثليها وأغلبهم جاء من أوروبا وهم آ . والد A. Wald ور . فون نيومان R. Von Neumannور . فون ميزس R. Von Mises ونيمان Neymann وج . بوليا G. Polya ون . فينر N. Wiener ودوب Doob وفلّر Feller وهيل Hill وهالموس Halmos وولفويتز Wolfowitz .

وبحسب تراث لابلاس Laplace وبوانكاريه Poincaré ، تتمثل المدرسة الفرنسية بقيادة بوريل É. Borel وفريشيه M. Fréchet وب . ليفي P. Lévy وج . دارامـوا G. Darmois ، وأيضاً بـ آ . هالفن E. Halphen ودوبلن Doeblin ووهرلي Wehrlé وبالعديد من الاحتماليين الناشطين جداً . أما المانيا فقد كرست جهودها لمدة طويلة ، من أجل الاحصاء الاقتصادي قبل أن تطور بشكل باهر الاحصاء الرياضي . وقد علم ر . فون ميزس R. Von Mises (نظرية المتكتلات) في تركيا ، ثم استقر في الولايات المتحدة . وتشهد اسماء ف . كانتلي F. Cantelli وك . جيني C. Gini وفينتي B. Finetti بحيوية المدرسة الايطالية . وفي البلدان السكندينافية يذكر هـ . كرامر H. Cramer وهـ . وُلـد H. Wold في السويد ،ور . فريش R. Frisch في النروج ، في حين لعب ، في أوروبا الوسطى كل من التشيكيين هوستنسكي Hostinsky وسباسك Spacek والهنغاري ريني Renyi والرومانيين اونيسيزو Oneceseu وميهوك Mihoc دوراً ناشطاً جداً ، وفي الهند حقق ب . ك . ماهولونوبيس P. C. Maholonobis انجازاً ضخماً .

التبْدِيه في حساب الاحتمالات ـ ظل مفهوم الاحتمالية مبهماً حتى بداية القرن العشرين ويعود الفضل في تعريفها الدقيق ، المرتكز على قياس المجموعات إلى É. Borel فالقياس ـ وهو وظيفة مجموعة جمعية ـ هو بالاجمال ، توازن ، بين كل التوازنات التي يمكن تصورها . وقاد هذا التعريف إلى شرح وتوضيح البداهة المقبولة ضمناً حتى ذلك التاريخ ، واتخذ تمثيل كولموغوروف Kolmogorov الدقيق كأساس (1933 Grundbegriffe der Wascheinlin... Berlin) .

من أصل مجموعة أساسية من الامكانات ، صُنِعَ نوعٌ من التثقيل Pondération ، أو بقول آخر توزيع للكتل ، قياساً (ثقلاً شاملاً) في عائلة واحدة من المجموعات الفرعية . هذا التوزيع للكتل يعني الاختيار من بين العدد اللامتناهي من التوزيعات الممكنة ، والمسألة الأهم هو تكييفه الأفضل مع المسألة المطروحة .

قد يحدث أن يكون هذا التثقيل موحد الشكل ، ومثلاً أن يكون للمجموعة الأساسية التامة ، كعناصر ، أثقال متساوية . ولكن من المهم دائماً إجادة فهم ماهية هذا المجمل الأساسي ، وماهية المجملات الفرعية ، ولماذا تم اختيار مثل هذا التثقيل ؛ وهذا ما بيَّنه التطبيق المضلل الذي قام به Poincaré على مسألة لعبة ورق (مجلد 3) .

تطور حتمي وتطور احتمالي ـ بنى الميكانيك الكلاسيكي والميكانيك السماوي ، انطلاقاً من الكون الخارجي نماذج حتمية تحديدية بحيث انه إذا افترض ان الموقع ، والسرعات ، وحقل القوى ، كلها معروفة في لحظة معينة ، فإن حل المعادلات التفاضلية يحدد المستقبل بصورة قاطعة .

مثل هذا النموذج بدا صعب التكيف مع تطور الفرد ، والعامّة ، والوضع الاقتصادي . فإذا كان للفرد جُزْءٌ من تطوره محكوماً بجزيئاته الموروثة ، فإنه يكون بالتالي خاضعاً لحقل احتمالي من التأثيرات الغذائية ، والسيكولوجية ، ولحقل من الاشعاعات يمكنها أن تحدث تغييرات في النمو وفي التبديلات الوراثية ، الخ .

إن شعباً ما يتطور بالزيجات والولادات ، والوفيات والهجرات . وليس الا عن طريق التبسيط المسرف يمكن ترجمة هذا النمو بمعادلات تفاضلية أو تكاملية . والحال هو كذلك بالنسبة إلى الوضع الاقتصادي . لا شك انه يمكن إلى هذا إضافة نوع من الوتيرة المماثلة لوتيرة نظام متذبذب ، ولكن الاحتمالات تلعب دوراً ضخماً ، ويخضع النظام المتذبذب ، كما لاحظ ذلك يول G. U. Yule وتبعه فريش R. Frisch ، لصدمات احتمالية تغير في تطوره . وهكذا يمكن القول انه في كل لحظة يمتلك النظام المنظور قانون احتمالية عفوية يحل محل الصورة الحتمية ويعطي حزمة ممكنة من أجل ملاحقة المسار المرصود .

وبنفس الطريقة يكون التطور الارصادي تابعاً لظاهرات احتمالية ، ذات عواقب مخيفة في بعض الاحيان . وكذلك التدفقات المتتالية للالكترونات داخل موصل ما ، والتي تحدث ضجة عميقة ، تعود إلى نموذج من الصدمات العشوائية .

كل هذا يؤدي إلى نوع من الميكانيك العشوائي ، يشتمل على الميكانيك الكلاسيكي ، من أجل دراسة التطورات في الزمن ، كما يؤدي إلى مفهوم عام جداً للانتقال من نظام حالة إلى نظام حالة أخرى ممكنة .

نذكر مثلين عن التطور الاحتمالي درسهما هنري بوانكاريه Poincaré ، مثل خلط الاوراق ، ومثل تسرب السائل إلى سائل ذي لون مختلف (راجع مجلد 3) . لقد بيَّن باشليه Bachelier خضوع هذه المسألة الأخيرة للمعادلة ذات المشتقات الجزئية ، المتعلقة بانتشار الحرارة المسمّى مسألة فورييهFourier، وبيّن بوليا G. Polya ان مسائل الانتشار هذه يمكن أن تعالج بالانتقال إلى الحد انطلاقاً من التطور الاحتمالي ، وبقفزات متقطعة ، أو انطلاقاً من سير عشوائي بالصدفة على مستقيم ، أو في فضاء ذي بعدين أو ثلاثة أبعاد . مثل هذا السير بالصدفة يظهر في دراسة الربح الاجمالي للاعب ما ، أو بصورة أعم في نقطة تمثل السحوبات المتسلسلة من صندوق .

ومنذ القرن التاسع عشر ، أدى تطور الاحصاء إلى ادخال كائنات عشوائية عامة جداً (مجلد 3) . والواقع أنّه لا حدود لتعقيدات هذه الكائنات العشوائية التي تظهر في ابسط الحالات .

الارتباطات العرضية (الاتفاقية) ـ رأينا في المجلّد الثالث أصل نظرية الترابط . إنّ المفاهيم العامّة إلى أقصى حد التي دخلت في هذه النظرية تتيح تحليل الارتباطات العرضية الداخلية في العنصر العشوائي المدروس ، وتطبّق على العناصر العشوائية ذات العدد (n) من المتغيرات ، وعلى العناصر العشوائية العامّة . ودرست مذكّرة شهيرة وضعها فيشر R. A. Fischer الارتباط القائم بين حصاد القمح في روذامستد ، وهو متغيّر عشوائي ، ومطر السنة ، وهو وظيفة عشوائية .

وخلال هذا القرن اتخذ مفهوم الارتباط العرضي عمومية أكبر كما ان امكانياته التفسيرية قد تزايدت، ومن بين التنوع الضخم المحتمل في الارتباطات الداخلية، هناك حالة عامة جداً في تطور عشوائية هي حالة يكون فيها قانون احتمالية المستقبل متعلقاً بالماضي كله .

وإذا امتلك المتغير العشوائي عدداً ضخماً ومعدوداً من القيم ، فان قانون الاحتمالية يتعلّق بكل القيم المتخذة من قبل . في هذا القانون الشرطي ، واحتمالية الانتقال ، قد يتناقص تأثير القيم السابقة ويتجه نحو الصفر عندما يكبر k ؛ ويمكنه أيضاً أن يزول ذاتياً في حال البعد الكافي . ويمكنه كذلك ان لا يتعلق الا بالقيمة السابقة أو يكون مستقلاً عن كل الماضي .

إن بعض الحالات مهمة بشكل خاص وقد درست كثيراً :

أ ـ عندما لا يتغير قانون الاحتمالية إذا غيَّرنا (t) إلى (t + k) (باعتبار k عدداً مطلقاً) ، عندها يقال ان العملية جامدة أو في تسلسل متوقف .

ب ـ إذا كان التأثير يقتصر على تأثير القيمة التي تم الانطلاق منها ، لا يتدخل الماضي الا من خلال النتيجة التي قدمها : ان التبعية التسلسلية التي وضعها Markov هي التي أثارت أعمالاً عدة ، أعطى بعضها نتائج جيدة .

ج ـ ويمكن الاكتفاء بفرضيات عامة جداً ، ولكنها كثيرة الحدوث ، كوجود عزم من المرتبة الثانية . في هذه الحالة الأخيرة ، حالة الوظائف العشوائية من المرتبة الثانية ، نضطر إلى تعريف الوظائف التي تلعب دوراً أساسياً ، وتمتلك خصائص مفيدة . من ذلك التغايرات التي تسمى ، في حالة التفاعلات الجامدة ، وظائف الترابط .

قوانين الاعداد الكبرى . دور قوانين لابلاس ـ ينزع التواتر (f_n) نحو الاحتمال P ، وهذا التوجه له احتمالية تعادل الوحدة . وهذه النتيجة الأخيرة (Kolomgorov) تشمل ، كالاولى ، التوجه نحو القيمة المتوقّعة E(X) من قبل القيمة الوسطى $(X_1 + X_2 + ... + X_n)/n$.

وبيّن Kolomogorov قاعدة قوية تتناول سلسلات العشوائيات المستقلة : « إذا كانت خاصّة معيّنة (A) بحيث لا يغير تغيير عدد متناهٍ كيفي من نوعية الـ X_i شيئاً في واقعة امتلاك أو عدم امتلاك الخاصّة (A) ، عندها لا يكون الاحتمال P (A) الا صفراً أو واحداً » . ان جمع الاخطاء الاولية المستقلة يولد عشوائية S_n . ان الامكانية المحولة $[S_n - E(S_n)]/\sigma_n$ تتبع في النهاية قانون Laplace :

ودرس Liapounov (1901) ثم p. Lévy (1937) و Khintchine ، درساً كاملاً هذا التوجه نحو قانون Laplace الذي يسلكه مجموع عشوائيات مستقلة . وهكذا في حالات ذات أهمية قصوى عملية ، يمكن للقانون الذي اكتشفه Laplace ان يستخدم كقانون أقصى .

قوانين اللوغاريتم التكراري ـ هل يستطيع المجموع S_n ان يتجاوز وظيفة ما لـ (n) ، $\varphi(n)$ ؟ ان الاحتمال π ، حتى تتحقق المجموعة اللامتناهية من اللامعادلات $S_n \geq \varphi(n)$ ، لا يمكن أن يكون إلّا صفراً أو واحداً (Kolomogorov) وينتج عنه وجود طبقتين من الوظائف ، طبقة عليا بحيث تكون $\pi = 1$ ، وطبقة دنيا تكون فيها $\pi = 0$.

وقد ثبت ان الوظيفة $\varphi(n) = C\sigma_x \sqrt{2\, n \log . \log n}$ هي من طبقة أعلى إذا كانت $C > 1$ ،

وتكـون أدنى إذا كانت $C \leqslant 1$ و S_n مجموع المتغيّـرات X_i من ذات القـانـون (قـانـون اللوغـاريتم المتكرر) . وبالنسبة إلى الطبقة العليا ، لا يكون التجاوز الا بعددٍ متناه من المرات بـالنسبـة إلى الطبقة الدنيا ، ويتحقق التجاوز بعدد لا متناه من المرات ، أو بالاحرى ان هـذه النتائج تكون شبـه مضمونة (باحتمالية تعادل واحداً) .

وهكذا يتيسر لنا ، في مثل هـذه الحالة من اتجاه قـانون الاحتمـالية نحـو قانـون Laplace ، قانون لوغاريتم متكرر بالنسبة إلى الانحرافات . وهذه النتائج قد عممت إلى حدٍ بعيد .

الطرق التحليلية الجديدة ـ تجب الإشـارة أولاً إلى استعمال الـوظيفة المميـزة (f. c) لقانـون الاحتمالية . انها المتحولة المنسوبة إلى Fourier حول وظيفة التوزيع (f. d) .

نفتـرض $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{itx}\, dF(x) = E(e^{itx})$ حيث المتغيـر t حقيقي . لقـد استخـدم Laplace بكثـرة الوظيفة f. c ، خاصة بـالنسبة إلى المتغيـرات العشوائيـة الصحيحة ، حيث تصبـح متعدّد حـدود أو سلسلة صحيحة عند e^{it} . وعرّف كوشي Cauchy (1853) بكلّ دقّة الـوظيفة المميّـزة $\int e^{itx} f(x)\, dx$ في حالة كثافة وطبقها على القانـون الملحوظ ، المسمى قـانون Cauchy وفيـه :

$$f(x) = (1/\pi)\,(1/[1 + x^2])$$

وقـدم H. Poincaré في سنة 1912 تعـريفاً واسعـاً لـ f. c ولكنه أخـذ $E(e^{tx})$ بالإعتبـار دون أن يوضح ان t يجب أن تكون خيالية خالصـة . وبيِّن ان f. c تحدد قـانون الاحتمـالية بـواسطة محوُّلة Fourier .

وبـواسطة دراسـة عميقة وبـارعة جـداً بيّن P. Lévy كل قـوة الوظيفـة f. c مبيناً بـدقة القـواعد الحدود ، وخاصة وجود حدٍ لـ f. d عندمـا يكون لـ f. c حـدٌ آخر . وهكـذا استطاع أن يحـلَّ بشكل معمق جدّاً مسألة لابلاس ـ ليابونوف ، كما عرّف القوانين الـلامتناهيـة القسمة ووجـد التعبير العـام للوظيفة f. c . وأدخل P. Lévy أيضاً وسيلة عمل مفيـدة جداً في مسـائل التـلاقي ،«وظيفة التـركيز ، وأوجد لا معادلة أساسية ارتبطت بها .

إضافة إلى ذلك انـا مدينون له بصياغـة قاعـدة (1935) ثبتت فيما بعـد على يد H. Cramer : إذا كان مجموع متغيرين ، قانون احتماليته هو قانون Laplace ، فان لكلٍ منهمـا قانـون Laplace . وكانت هذه النتيجة الاساسية في منشأ العديد من القواعد الفخمـة جداً المسمـاة غالبـاً باسم حلقـة Lévy - Cramer .

وباستعمال f. c أيضاً استطـاع دارموا G. Darmois ان يبين بدون أيـة فرضيـة عكس القاعـدة (التي بين R. A. Fisher عموميتها وخصوبتها)حول الوظائف الخطّية للمحتملات المستقلة ،والتي تبقى مستقلة . هذه الخصوصية التي تميز المحتملات اللابـلاسية أتـاحت لمورييـه E. Mourier أن يكمل تعريف العناصر العشوائية اللابلاسية في فضاء باناخ Banach .

وبينت مـذكرة مهمـة وضعها لـوفه Loeve حـول الوظـائف العشوائيـة من المرتبـة الثـانيـة ان

التغايرات قريبة جداً من الوظائف f.c وتقدم لها العديد من الخصائص .

إن النتائج المهمة حول حساب (ارتمتيك) قوانين الاحتمالات ، والتي حصل عليها ليفي وكنتشين وبوليا ودوغيه D. Dugué جمعت في الدراسات التي نشرها ليفي (1937) ودوغيه (1958) .

المشتقات والمتكاملات العرضية ـ نذكر الاشكال الاكثر أهمية في التلاقي العرضي (راجع مجلد III) : التلاقي في القانون (وهنا تطبق القواعد السابقة التي وضعها ب . ليفي P. Lévy) ، التلاقي في الاحتمالية ، والتلاقي في المتوسط ، والتلاقي شبه الاكيد (p. s) وأخيراً التلاقي شبه الاكيد بصورة كاملة (p. c. s) ، وهو أشد ضيقاً من السابق ويؤدّي إليه(ان قواعد Borel وكانتللي Cantelli تُعنى بالتلاقي شبه الاكيد بصورة كاملة) .

وبالارتباط مع قانون الاعداد الكبرى ، جرى منذ عشرين سنة تقريباً تطوير نظرية تتعلق بالقيم الكبرى والصغرى ، حيث درس فيها السلوك العشوائي (في الاحتمالية شبه الأكيدة ، وشبه الأكيدة بصورة كاملة) للكميات $m_n/f(n)$ و M_n/f_n ، باعتبار f (n) وظيفة عدد من العناصر في عينة عشوائية وباعتبار M_n و m_n على التوالي أكبر وأصغر من النتائج لـ n العشوائية في العينة . بهذا الحقل من الدراسة قرنت اسماء غنيدنكو Gnedenko وغامبل Gumbel وجيفروي Geffroy . ويمكن بالتالي ربط كل الحدود (العرضية) بمختلف أشكال التلاقي .

وتعرف الاشتقاقية انطلاقاً من تعبير من نمط $G(t, \Delta t)=[X(t+\Delta t)-X(t)]/\Delta t$ حيث تنزع Δt نحو الصفر : اذا نزعت G نحو قيمة عشوائية Y (t) ، يحصل المشتق X (t) بالنسبة لقيمة t . وتتدخل المشتقات بشكل خاص في شروط التلاقي عند المتوسط التربيعي (m. q) ؛ ان الاشتقاقية المزدوجة في (m. q) تلعب دوراً أساسياً في الميكانيك الاحتمالي . وكذلك تُعرف التكاملية (التلاقي في الاحتمالية ، و m. q و p. s) .

ولاحظ باشليه Bachelier ان هذه المسألة (في m. q) هي ذات علاقة مع نظرية المعادلات التفاضلية والمعادلات ذات الاشتقاقات الجزئية ؛ والشروط محكومة بمعادلات كولموغورف Kolomogorov :

طريقة مونت كارلو ـ منذ زمن بعيد جرت محاولة درس عددي لبعض المسائل التي ليس لها حل نظري متقدم جداً . من ذلك حالة توزيع مُعامل الترابط الجزئي قبل أن يقدم R. A. Fisher لها حلاً بسيطاً وكاملاً (مترون Métron ، 1924) . وقام بيسفام Bispham بهذه الدراسة ، الاختبارية نوعاً ما ، حول عدد كبير من القيم (عدة مئات) ؛ وحصل على موافقة جيدة بشأن المعامل العادي للترابط . ولكن ، كما هو معروف الآن ، لن يكون الفرق مرئياً إلا بالنسبة إلى عينات صغيرة جداً ؛ ثم انه قبل الولوج في أعمال مهمة من هذا النوع ، يتوجب تفحص الحساسية .

وكذلك فإنّ توزيع المتغير الشهير $t = \frac{x-m}{s/\sqrt{n}}$ ، باعتبار s تقديراً لـ σ ، الذي ينتج بسهولة من التأملات الانيقة في الجيومتريا ذات الابعاد (n) التي قام بها R. A. Fisher ، كان قد تكهّن به

ستيودنت Student خلال قيامه بتسوية إحصائية .

إن المسائل المعالجة اليوم هي أكثر صعوبة بكثير . ومن بين الابسط فيها ، تظهر التكاملات المضاعفة (لنقل ذات الابعاد المئة) كما هو حال فوقيات الاحجام ، اجزاء المكعب الفوقي ذي الضلع الوحدة . واذا اخترنا عدداً N من النقاط عشوائياً ، ثم تفحّصنا كم منها داخل في الحجم ، لنفترض n فإن n هو تقدير للحجم . وعقد مؤتمر خاص (طريقة مونت كارلو . . . ، واشنطن ،1951) فدرس عدة نماذج منها (فيزيائية ورياضية ،الخ .) يضاف إليها كل يوم نتائج جديدة .

وتم فتح مجال بأكمله عالٍ جداً وملموس جداً بآنٍ واحد ، من أجل استعمال أعداد عشوائية (random numbers) ، بفضل قوة الحساب الاوتوماتيكي . وهكذا يمكن أن نعثر على حلول عددية لمسائل كانت مستعصية تماماً في الماضي .

نظرية التخمين (التقدير) ـ ان المسألة الأساسية في نظرية التخمين هي : ماذا يمكن أن يقال عن بنية وعاء معيّن ، أو بشكل أعم ، عن بنية مجتمع إحصائي معيّن انطلاقاً من المشاهدات التي تشكل عينة عشوائية ؟ تقوم المشكلة على وضع وظيفة (E) (عشوائية أيضاً) لهذه العينة باستطاعتها أن تكون ذات احتمالية جدية في أن تكون قريبة من المجهول . ويعود الفضل في أسس هذه النظرية إلى السير رونالد فيشر Ronald Fisher (نظرية التقديرات الاحصائية ، 1925) .

نأخذ مثلاً ، قانون لابلاس Laplace حيث يتوجب تقدير القياسين (بارامتر) m ، σ . لدينا عيِّنة : $x_1, x_2, \ldots, x_n$ من المشاهدات . ويتوجب الحصول على وظيفتين للعينة . نطرح :

. $s^2 = \Sigma (x_i - m')^2/(n-1)$ و $m' = (x_1 + x_2 + \ldots + x_n)/n$

إن هذه التعابير تبدو طبيعية . والسبب فيها ان $E(s^2) = \sigma^2$ ، والعشوائية s^2 موزّعة إذاً حول متوسط هو بالضبط المجهول . ان دراسة m' و s^2 تدل على أن هذه التقديرات توزع تماماً حول m وحول σ^2 ، مع تلاقٍ في الاحتمالية .

ولكن قد توجد تقديرات أخرى ويتوجب مقارنة حسناتها .

الخلاصات الشاملة (المستنفدة) ـ قد يعطي رصد العيِّنة $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ فكرة عن المتغيّر (القياس) المجهول (الذي نفترضه نحن وحيداً) لأن قانون احتمالية العيّنة يتعلق بهذا المتغيّر . وهكذا يتعلق مثلاً تجمع نقاط ارتطام البارود بخصائص السلاح ويمكن أن يُعلِمَ عن هذا السلاح .

ولكن بناء مختلف وظائف العينة (مثلاً المتوسط) هل يستنفد أم لا طاقة اعلام E ؟

في الحالة المهمة بشكل خاص حيث أدْخلت من أجل المتوسط T ، التسمية « الخلاصة الشاملة » ، هذا المتوسط يمتلك تفوقاً حاسماً على أية وظيفة أخرى من العينة .

وقد أشار ر . آ . فيشر R. A. Fisher إلى خصائص ملحوظة يجب أن تتوفر في الخلاصات الشاملة . إذا كان للمشاهدات n_1 خلاصة R_1 وكان لـ n_2 من المشاهدات خلاصة R_2 ، فان

المجموع له خلاصة R هي وظيفة فقط حسب R_1 وR_2 .

إن الشكل الضروري لوجود خلاصة دقيقة (ج . دارموا G. Darmois 1935) هو شكل خاص . وعلى كلٍ انه متحقق بالنسبة إلى قوانين الاحتمالية الاكثر استعمالاً (قانون Laplace ، وقانون بواسون Poisson) . ان غالبية التقديرات لها قانون لابلاسي عندما تزداد n إلى ما لا نهاية . ومن جهة أخرى نحاول أن نعطيها خصائص بسيطة ومفيدة .

1 ـ أن التقدير T لمتغير قياس Θ يتعلق بعدد المشاهدات n . ويكون التقدير متلاقياً إذا كانت T تتجه في الاحتمالات نحو Θ . فضلا عن ذلك قد يحدث ان تكون القيمة المتوسطة E (T) مساوية لـ Θ . ان مثل هذا التقدير يقال له متلاقياً وبدون تحيّز .

2 ـ واذا كان للتقدير سلوك حدّي لابلاسي ، فمن الطبيعي البحث عن تقدير الأنحراف النموذجي (المعاييري) الأدنى .

حدود اللايقين ـ اعلن ر . آ . فيشر R. A. Fisher ، واجرى العديد من البرهنات حول الأمر ، ان في كل تقدير بقية من لايقين (شك) . وقد درست هذه المسائل حوالي سنة 1940 وحصلت نتائج مهمة على يد كرامر Cramer وراو Rao وعلى يد دارموا Darmois وفريشيه Fréchet : ان الانحراف الوسطي التربيعي لتقدير دون تحيّز هو محدود دونياً ؛ ويتم الوصول إلى الحد في حالات الخلاصات الشاملة .

ذروة الترجيح ـ ان احتمالية عينةٍ ما هي P (E, Θ) . واعتبرها فيشر Fisher كوظيفة لـ Θ ، فسماها الارجحية (Likelihood) واقترح كتقدير لـ Θ اعتماد القيمة (المفترضة وحيدة) التي تعطي للارجحية القيمة القصوى . وهي تُقدم بصورة اوتوماتيكية التقديرات والخلاصات الشاملة (المستنفِدة) عند وجودها .

وقد تبين ، في ظروف عامة جداً ، ان هذه الاحتمالية صحيحة ، وانها لابلاسية في المآل الأخير ، وهي تكاد تقارب الشمول .

وفي سنة 1952 ادخل ج . دارموا مفهوم الإليبسوييد [مجسم القطع الناقص] في الإعلام . ان مُطلق تقدير هو عشوائي (ذو ثلاثة أبعاد) يمتلك اليبسوييد تشتتات . هذا الاليبسوييد الثاني ، الداخل بالضرورة ضمن الأول ، يضيع فيه في الحالات المستنفدة .

اختبارات الفرضيات الاحصائية ـ ادخل نيمان Neymann وأ . س . بيرسون E. S. Pearson ، وهما يسترجعان نظرية اختبارات الفرضيات الاحصائية ،مفاهيم مهمة ومفيدة حول احتمال الخطأ الأول والثاني وحول قوة الاختبار . وبدت هذه المفاهيم ، الداخلة بفضل التعريف المسبق في فضاء المشاهدة لمجال نقدي يتوافق مع احتمالية صغيرة ، مثمرة إلى أقصى حد .

وعلى العموم ، يقرن مفهوم المجموعة الانتقادية موقع نقطة (مشاهدة) في فضاء ما ، باستخلاص معيّن . هذا الاستخلاص اذا كان نهائياً ، يؤدي إلى اعتماد أو إلى رفض فرضية .

ولكن يمكن الاعتبار بأننا لم نتنور كفاية وانه لا بدّ من اعلام اضافي . ونرى بروز فكرة تسلسل العشوائي بصدد إتّخاذ قرار حاسم .

ويبدو ان هذا هو السبيل الذي سلكه آ . والد A. Wald الذي عمّق اختبارات الفرضية الاحصائية وجعل منها تطبيقاً محدداً لمراقبة المصنوعات (وظائف القرار الاحصائي 1950) . وكانت النظرية الرياضية حول الوظائف ، والنظرية العامة حول القرار من بين مواضيع البحوث والاعمال الاكثر حيوية في الوقت الحاضر .

السيطرة على المصنوعات ـ تتوجب الاشارة إلى تطبيق ، بسيط عموماً ، انما ذي أهمية اقتصادية واجتماعية استثنائية . ان القطع المصنوعة ضمن الشروط الاكثر تنظيمية ورقابة لا تنجو من تغييرية تخضع ، هي بالذات ، لقوانين احصائية . ويتطلب الصنع معدلاً مئوياً ثابتاً من القطع التي توصف بأنها معيبة ، أي لا تمتلك الصفة المطلوبة . ان هذه النسبة تحدد البنية الاحصائية لمصنوع ، : انها السيطرة عن طريق الصفات . وإذا كان الامر يتعلق بابعاد متقلبة مقاسة ، نحصل عندها على توزيع محدد من الترددات . ويراد تحديد هذه البنيات بناء على عينة . وبالنسبة إلى الصفات ، تتبع العينة توزيع « ثنائي الحد » (binôme) أو تتبع ، اذا كانت نسبة المعيب ضعيفة ، قانون بواسون Poisson .

وبالنسبة إلى توزيع تردّدات يكون ، عموماً ، لابلاسياً ، يجري البحث عن تقدير للمتوسط وللانحراف النموذجي ومراقبة استقراريتهما . وهكذا يمكن بالتالي اثبات اختلال الصنع ثم الاسراع في تصحيح الانتاج المسرف للاشياء المعيبة . ان مثل هذه الرقابة بحكم انها سلسلة من القرارات ، تخضع حكماً لطرق متسلسلة من تراكم الإعلام (والد، 1950) .

العودة إلى التفاعليات العرضية ـ ان التبعية التسلسلية التي قال بها ماركوفMarkov تبدو كتعميم طبيعي للترابط . في مثل هذه التفاعلية ، لا يتعلق التطور العشوائي ، انطلاقاً من اللحظة t ، الا بالحالة في اللحظة t نفسها وليس بالكيفية التي مكنت من الوصول إلى مثل هذه الحالة . والشيء الواجب لحظه هو ان ظاهرة ما مماثلة تحصل في انتشار الموجات .

نفترض نظاماً Σ له عدد محدد (r) من الحالات الممكنة : $E_1, E_2, ..., E_r$. في اللحظة صفر يتخذ النظام Σ ، عرضاً احدى هذه الحالات ، مما يعطي قانون احتمالية أساسية . وفي لحظات معينة متتالية $t_1, t_2, ..., t_n$ يغير Σ من حالته بشكل عشوائي .

ونفترض C^n_i الحدث الذي تتخذ فيه Σ حالة E_i في اللحظة t_n: الاحتمالية في حالة C^{n+1}_i ، المشروطة بكل التاريخ السابق ، ليست مربوطة الا بـ C^n_j ، وبالنسبة الى سلسلة ثابتة ، لا تتعلق الاّ بـ n ، واذن فانها عبارة عن عدد P_{ij} ، احتمالية انتقالية من E_i إلى E_j . ان خصائص P_{ij} قد اوضحت ، بذات الوقت الذي تمت فيه دراسة احتمالية P_{ij} بالانتقال من E_i إلى E_j ، بخلال عدد n من التجارب .

وإذا اتخذت الوظيفة الاحتمالية X (t) القيمة x بالزمن t ، اتخذت الاحتمالية الشرطية X (τ) $< \xi$ أي وظيفة التوزيع المشروطة تعبيراً هو $F(t, x; \tau, \xi)$ ، ذا كثافة $f(t, x; \tau, \xi)$. ان معادلات

كولموغوروف وشاپمان وسمولوشووسكي Smoluchowski تلعب دوراً أساسياً في هذه النظريـة . ان البحث عن وظائف الكثافة قد حُلّ من قبل Kolmogorov وفيلر Feller .

ويتم التوصل ـ بالنسبة إلى بعض القيم الخاصة للوظائف الحدية المفترض وجودها ـ إلى معادلة فورّييه Fourier ، مع حلّها الاساسي من النمط اللابلاسي ، المعروف من زمن بعيد . ان الوظيفة العشوائية التي تتوافق مع هذا الحل هي دالة ڤينر ـ ليڤي Wiener-Lévy ، المسماة دالة الحركة البرونية من جراء ان الصورة الانيقة التي تنتج عن المعادلات المدروسة تقترن غالباً عند الرياضيين بهذه المسألة الفيزيائية . الواقع ان هذه المسألة أكثر تعقيداً ، وبعض الدراسات الحديثة (1959 ج . مالكوت) تحاول التوصل إلى نظرية أكثر توافقاً مع الواقع الفيزيائي .

الديمغرافيا العامة العرضية [العمليات العرضية = كل العمليات المحتملة والتي خضعت لتحليل احصائي] ـ ان المجتمعات الإحصائية البشرية هي المثل الاكمل لما سميٌ بالمجموعات المتجددة ، أي المتغيرة بفعل الولادات والوفيات والهجرات . فمن الطبيعي إذاً دراستها بواسطة طرق التفاعليات العرضية . واذا استبعدنا الهجرات ، نحصل على سلسلة ماركوف Markov ، التي يمكن افتراضها ، في التقريب الأول ، ثابتة .

ولكن هذا التطبيق ليس الا قسماً صغيراً من المجموعة . ويوجد أيضاً تغيير في مجتمعات الجزيئات التي يمكن أن تظهر وتزول وتخضع للهجرات .

في هذه الروحية الديمغرافية العامة قام ج . يو . يول G. U. Yule ـ الذي ادخل الكثير من الأفكار الباهرة والعميقة وقام بدراسات احصائية أصيلة ـ في سنة 1924 بتقديم نظرية رياضية حول التطور المرتكز على أعمال ج . ك . ويليس J. C. Willis (السن والمنطقة ، 1924) حيث عثر ، من خلال الطرق البسيطة ، على تعبير جديد تماماً عن التطور الاحتمالي .

في سنة 1927 ، وبمناسبة البقع الشمسية و « عدد وولف Wolf » ، طوّر Yule الفكرة المثمرة للحركة الطبيعية ، الدورية في مراحل السكون ، ولكن المضطربة بالصدمات المحتملة . هذا التصور الممتاز طُبّق سنة 1933 من قبل ر . فريش (R. Frisch) في دراسة الدررات والتفاعليات العرضية المتعلقة بالتطور الاقتصادي . ان الديمغرافيا العامة حول الجزيئات قد عرضهما ن . آرلي بالنسبة لمثل الاشعاعات الذرية . وفي سنة 1948-1951 عالج كندال D. Kendall هكذا نمو المجتمعات الاحصائية ونظرية الصفوف (الطوابير) ، في حين درس ج . ماليكوت G. Malécot التفاعليات العرضية في علم الوراثة . وعاد و . فيلر W. Feller ، وعمله ذو أهميه بالغة ، من الناحية العرضية إلى بحوث ف . ڤولتيرا V. Volterra حول « الصراع من اجل البقاء وتطور السكان » . في هذه الدراسة ، استخدم المعادلات ذات المشتقات الجزئية التي وضعها كولموغوروف Kolmogorov ، في حين لجأ بارتلِتْ إلى الوظيفة المميزة الخاضعة للمعادلة ذات المشتقات الجزئية المطابقة لمعادلة Kolmogorov .

الميكانيك الاحصائي الحديث ـ هناك تجديد عميق جداً في طرق هذا العلم ، حاصل في

الوقت الحاضر . ويقوم على الاستخدام المصمم الاكيد للطرق العامة في حساب الاحتمالات ، والتي برع آ . كنتشين A. Khintchine في تبيين قوتها وخصوبتها (الاسس الرياضية لميكانيك الاحصاء ، الترجمة الانكليزية 1949) . ان كتاب « الطرق الرياضية لميكانيك الاحصاء » (1958) الذي وضعه بلان ـ لابيير Blanc-Lapierre وتورترات Tortrat وكازال Casal يعطي دراسة عامة تذكر باعمال فولر Fowler وكنتشين Khintchine .

وهناك استعمال واسع للوظائف المميزة وللقواعد الحدية في حساب الاحتمالات ، أتاح حل المسائل الاكثر أهمية ، وخاصة دراسة السلوك التقاربي والتي ادخلها العدد الكبير جداً من الجزئيات بالضرورة .

الطاقوية (ergodisme) ـ ان مسائل خلط الورق ومسائل البث المدروسة من قبل بوانكاريه (راجع مجلد 3) هما حالتان من حالات الطاقوية (ارغوديسم) . والحالة الأولى بلغت وضعاً (حالة دائمة حدية) تكون فيه احتمالية التبديلات المختلفة هي ذاتها في جميع الاوضاع ، بمعزل عن البنية الاساسية للعبة . أما في الحالة الثانية ، فهناك أيضاً وضع دائم ، جامد ، مستقل عن الخليط الأول للسوائل . وهناك مسألة مهمة هي مسألة القيم المتوسطة .

إن المتوسطة الطبيعية ، أو القيمة المتوقّعة الرياضية [القيمة المتوقّعة الرياضية لمتغير عشوائي متقطّع X ، هي المتوسطة الحسابية المتزنة بالقيم المحتملة في المتغير . . .] تكون عادة وظيفة زمنية ، تمثل في كل لحظة شيئاً ما حوله تتم التقلبات .

إن المقدار الاحتمالي X (t) يرمز اليه بـ X (t, ∝) للتدليل على انه في كل اختيار لعشوائية اساسية (∝) يتوافق نوع من التطور تابع للزمن .

إن المتوسطة المأخوذة على طول « مسار نظام ما » تكون المتوسطة بالنسبة إلى الزمن . وان هي وجدت ، فانها تكون على العموم وظيفة للعشوائية الاساسية ، أي تكون متغيّراً عشوائياً . ان الحالات المهمة هي الحالات التي تكون المتوسطتان فيها هما نفسهما .

الميكانيك الاحتمالي ـ حقق الميكانيك والفيزياء في مجال الموائع نجاحات كبرى . ولكن الجوّ ، رغم انه غاز ، قد استعصى على المعالجة بطرق وأساليب الهيدروديناميك . وكما يقول ف . ويهرلي (الكون الاحتمالي ، 1957) ، ان علمنا بالموائع قد جرى تصوره خصيصاً لسلم بشري ، ولشروط تتم في المختبر ، وبكلام آخر ، انه علم الموائع « المنزلية » ، المحفوظة في الأوعية ، الخالصة من كل شائبة اضطراب وعموماً في « حالة توازن » . وكل شيء يحدث كما لو ان الرياضيات القابلة للتطبيق في الامكنة المتصلة ، قد كيفت خصيصاً بالموائع المحدودة باسوار وأغشية ، لأن دمجها يتطلّب معرفةً بشروط الحدود .

والمائع الحق قلّما يتكيف بصورة كاملة ، ولكن لا تكيف الهيدروديناميك الكلاسيكي مع الجو واضح تماماً . إذ أنَّ هذا الوسط هو بدون حدود معروفة . وعلى الصعيد الضخم في الارصاد الجوّية (متيورولوجيا) الشاملة ، يتحرك بموجب حركات غير منتظمة ، وهو عرضة للاضطرابات

من كـل شكل وحجم . وقـامت مجموعـة مميـزة بـالتصـدي لهـذه المسـألـة مؤلفـة من ديـديبـانت Dedebant وويهرلـي وجياو Giao وشيريشيوسكي Scherechewsky وموايال Moyal وباص Bass ، الخ .

ولهذه المسائل أهمية كبرى نظرية لانها تبدو وكأنها تفرض رؤيـة جديـدة تماماً لعالم مـأهول بالجسيمات المحتملة . ولكن لها أيضاً أهمية ضخمة من النـاحية العمليـة . فهناك تقـدم من حيث التنبوء بالمناخ : تجلّد أو ذوبان ، ارتفاع الموج ، عواصف ، كل ذلـك يجنب الكثير من المتـاعب وينقذ حياة الكثيرين ، ويوفر مبالغ ضخمة .

إن وسائل الرصد ، التي أشار اليها لوفريبه Le Verrier ، يمكن ان تمتد الآن بسهولة لتشمـل المحيطات ، والمرتفعات المشهورة والمسـافات التي تتحرك فيها الاقمـار الصناعيـة . وإذاً يمكن الاعتماد على اعلامٍ غنيٍ جداً .

إن الدراسة النظرية قد أدت إلى نتائج عامة جداً . فقـد دلت بشكل خـاص على ان الفضاء ـ الـزمن يستخدم الجسيمـات من مختلف السلالم (طـوابق متراكمـة من الاضـطرابـات) وان هنـاك مكسباً كبيراً من تزويد هذا الفضاء ـ الزمن العشوائي بالاشتقاقية المزدوجة ذات المتوسطة الرباعية . ان تفاعل المفردات الفيزيائية يترجم بتبعية احصـائية ارتبـاطية . ويحـدث التطور بـالتخلي عن هذه التبعيات ، تخلياً يمرر الطاقة الحركية من طبقة اضطرابات إلى الطبقة الاسفل .

لا شك ، اننا ما نزال بعيـدين عن الحلول الحاسمـة ، ولكن الأمر يتعلق هنـا بجهد ملحـوظ نحو التقدم في المسائل الاساس .

علم الفلك (استـرونوميا) ـ ان عالم الكـواكب ، والمادة التي تحتـويها ، والحيـاة العجيبة للاشعاعـات ، والجزيئـات ، المتنوعـة جداً التي تـولد وتمـوت وتصطدم فيمـا بينها ، تجـر وراءها سلسلة من الدراسات حيث يدخـل الاحصاء أكثر فأكثر . وتبدو رؤى احتمالية متـلائمة نـوعاً مـا مع هذه المسائل ، خاصة مع البنية ، ومع حـركات الكـون الكوكبي ، ثم مـع مغامـرات الجزيئـات ، كالفوتون والالكترون ، والاشعـة الكونيـة ، التي تجوب الفضـاء وفقاً لتفـاعلية عـرضية (اتفـاقية) مستمرة .

إن التقدم النظري وعلى صعيد المعدات قد أتاح دراسـة أذرع مجموعتنـا الشمسية ، ومـراكز بثّ الاشعاعات والجزئيات ، كما أتاح تجديد مسألة دوران الأرض .

لقد ساعدت الطرق الاحصائية دراسة حقل دوران مجموعتنا الشمسية ، وحركـات الدوران ، والمكوِّن للحقل العامودي على سطح المجرّة ، والـذي يوضـح الحركـات الجيبويـة (على شكل منحنى الجيب sinus) تحت هذا السطح .

وخـلال دورةٍ (1958) للمؤتمر الـدولي للاحصـاء ، قدمت مجمـوعـة من الفلكيين ، وعلمـاء الاحتمـال والاحصـاء شكّلهـا ووجههـا ج . نيمـان J. Neymann نمـاذج جـديـدة من اجـل دراسـة

المجموعات الكبرى من المجرات ومن اجل دراسة المسائل الاحصائية في الاستروفيزياء [فيزياء الكواكب] : دوران المجرة (د. بارتون D. E. Barton وف . ن . داڤيد F. N. David) ، والدراسة الاحصائية للمجرات (موايال Moyal ومس سكوت Miss Scott وشين Shane) ، ثم تأويل الارصاد الراديو ـ كواكبية بواسط الطرق الاحصائية (شيور Schewer ورايلي Ryle) .

وخصص العديد من المؤتمرات من قبل الاتحاد الفلكي الدولي (كليفلاند 1951 وموسكو 1958 ، الخ .) لدراسة المخطّطات الشهيرة التي وضعا هرتزپرونغ ـ راسل Hertzprung-Russel ، والتي تُظهر عن طريق الغيوم المحددة وجود القوانين الاحصائية : تقدير المسافات بواسطة البريق ، والنظرية الاحصائية حول توزيع المجرات ، والمسافات بينها ثم امتداد الكون ، كل ذلك دلّ على قوة وعلى اتساع العلاقات بين علم الفلك وعلم الاحصاء .

ويمكن التأكد من رؤية الاساليب الاحصائية ، بوجود مشاكل لن تنتهي سريعاً ، وهي تقدم عوناً فعالاً وتتلقى دفعة قوية للامام .

خطط التجارب ـ ان الهدف الذي يسعى اليه المجرب هو الحصول ـ من اجل المسائل البيولوجية ، والزراعية ومن اجل البحوث الصناعية الخ ... على أفضل المعلومات في زمن معين وبسعر معين . ويعود الفضل بشكل خاص إلى R. A. Fisher في تقديم التحفيزات والتصورات الاساسية وكذلك النتائج النظرية الضرورية . لقد استُدعي في روذامستد Rothamsted من قبل سيرجون راسل Sir John Russel ، في سنة 1919 ، فجلب ر . آ . فيشر معه ثورة حقيقية في اساليب الحصول على النتائج والاحكام العلمية المستخلصة منها .

في كتابه المسمى « مساهمات في الاحصاءات الرياضية لسنة 1926 » ، وردت هذه الفكرة الاساسية : « ان للتجارب الواسعة والمعقدة فعالية أعلى بكثير من التجارب البسيطة . ان أية حكمة أو كلمة مأثورة لم تردّد غالباً ، فيما خص التجريب الزراعي ، كالتي تقول انه يتوجب علينا أن نطرح على الطبيعة القليل من الاسئلة بآنٍ واحدٍ ، أو حتى الاقتصار على سؤال واحد . والمؤلف مقتنع أنّ في هذا خطأ كاملاً . ان الطبيعة تقبل تماماً الاجابة عن الاسئلة المنطقية الموضوعة بعناية حتى أنّها ، في حال طرحنا عليها سؤالاً واحداً ، ترفض الاجابة قبل حل السؤال الآخر السابق له .

إن نتائج مطلق تجربة تبقى متأرجحة ولذا يتوجب علينا أن نطبق عليها أساليب احتمالية ، تؤدي إلى تقدير للقيم المتوسطة ولقيم التشتت . وهذه الاخيرة لا غنى عنها لتطبيق اختبارات التوضيح (أي من اجل الحكم في : هل يمكن ، في فرضية ما H_0، ان تكون النتائج معزوة الى المصادفة ؟) . فضلاً عن ذلك يتوجب أن نحلل تشكّل النتائج بشكل يستبعد أو يزيل بعض أسباب الخطأ المنهجية .

لهذه الاسباب المتنوعة ، أوجد ر . آ . فيشر مجموعة من الطرق : تحليل التباين ، الخطط العواملية Factoriels لدراسة مجموعة من العوامل بصورة شاملة .

وثمة مثل على ذلك : هناك ثلاثة عوامل يتوجب درس كلٍّ منها عند مستويين وهي $A_1 A_2$ ، $B_1 B_2$ ، $C_1 C_2$. نشكّل التركيبات الثمانية $(8 = 2^3)$:

$$A_1B_1C_1, A_1B_2C_1, A_1B_1C_2,$$

$$A_1B_2C_2, A_2B_1C_1, A_2B_2C_1, A_2B_1C_2, A_2B_2C_2$$

ونرى أنّ A_1 تتكرّر أربع مرات وكذلك B_1 و C_1 ، وكذلك الحال بالنسبة إلى A_2 ، B_2 ، C_2 . الزوج A_1B_1 يظهر مرّتين ، الخ . ونستطيع بفضل هذه التكرارات الحصول على التشتّتات ؛ والخطأ الممكن يتمّ تقديره . فيقال أنّ الكتلة المؤلّفة من ثمانية أجزاء تحقق خطة عواملية .

ووجد ر . آ . فيشر مضطراً إلى استخدام ما كان يعتقد انه ليس الا مجرد تسليات رياضية ، مثلاً : المربعات اللاتينية عند أولر التي يحتوي كل خط فيها وكل عامود مرة واحدة فقط حرفاً معيّناً .

إن الجبر الخالص (حقل غالوا) يلعب في هذه المسائل دوراً مهماً . ان بعض الخطط تهدف إلى تخفيض عدد التجارب . والكتل غير الكاملة المتوازية تستعين بالجيومتريا الاسقاطية ؛ وقد تمّ الحصول على قواعد جبرية متناهية الاناقة (شوتزنبرجر Schutzenberger) .

الاعلام القابل للقياس ـ يهدف العلم إلى اكتساب المعرفة ، وإلى التقدم الحاصل والممكن التحقيق عن طريق الرصد والتجريب . في نظرية التقدير ، رأينا أية معلومات تقدّمها ، بالنسب لمعيار (بارامتر) Θ ،عيّنة تتبع قانون احتمالية تظهر فيه Θ .

أدخل ر . آ . فيشر مفهوماً عميقاً جداً ، يمكن أن يسمى القدرة الاعلامية لقانون احتمالية فوق بارامتر واحد أو عدة بارامترات .

نفترض وجود قانون ذي بارامتر Θ ،وكثافة $f(x, \Theta)$ ؛ نحصل على: $\int f(x, \Theta)\, dx = 1$ مهما كان Θ وينتج عن ذلك ان :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial f}{\partial \theta}\, dx = \int_{-\infty}^{+\infty} f\left(\frac{1}{f}\frac{\partial f}{\partial \theta}\right) dx = 0 \quad \text{أو} \quad E\left[\frac{\partial \log f}{\partial \theta}\right] = 0$$

إن المقدار الذي ادخله فيشر ، والذي يتحكم بالنتائج حول تخوم السلايقين هو $E\left[\left(\frac{\partial}{\partial \theta}\log f\right)^2\right]$ أو $E\left[-\frac{\partial^2}{\partial \theta^2}\log f\right]$.

واليوم يُعيّن هذا المقدار باسم « اعلام ر . آ . فيشر » لتمييزه عن الانماط الاخرى الاعلامية التي سبق ادخالها (انظر أيضاً حول هذه المسألة الفصل اللاحق) .

ودلت أعمال ر . هارتلي R. Hartley (1927) وخاصة أعمال ك . أ . شانون (1948) Shannon على ان انتقالية الرسالة في وقت معين « قابلة للقياس » . فضلاً عن ذلك أيضاً ، هي قابلة للجمع .

إذا كان M مجموع رسالتين M_1 و M_2 ، فهذه القيمة الاعلامية R لها خاصية : $R(M) = R(M_1) + R(M_2)$. واذا كان لدينا N_1 إمكانية من جهة ، و N_2 من جهة أخرى ، مجموعها N_1N_2 إمكانية ، $R(N_1) + R(N_2) = R(N_1N_2)$. عندها تكون R إذاً لوغاريتماً .

كل هذا ليس جديداً تماماً . يقيس الفيزيائيون درجة عدم التنظيم في نظام ما بواسطة قصوره : [القصور ، في الفيزياء ، مقدار يتيح ، في الترموديناميك ، قياس التقهقر في طاقة نظام (قصور نظام مايدل على مقدار الارتباك فيه) ، وفي نظرية الاتصال ، القصور هو عدد يقيس لا يقينية طبيعة رسالة مرسلة انطلاقاً من الرسالة التي سبقتها (ان القصور يكون معدوماً ، عند غياب اللايقين)] ، $-E(\log f) = -\iiint f \log f \, du \, dv \, dw$ ، حيث تكون f ، في الفضاء ، كثافة السرعات . وقد عثر المتخصصون في الاتصالات على هذه القيمة التي تساوي ، بالنسبة إلى مجموعة $p_1, p_2, \ldots, p_n$ من الاحتمالات : $H = -\Sigma p_i \log p_i = -E(\log p)$.

وتكون قيمة H صفراً في حالة اليقين حيث p_i تساوي الوحدة . وقيمتها الاكبر $\log n$ تتوفر عندما تساوي كل الـ p_i, $1/n$. ونرى ان هذا هو مقياس لجهل الباحث . اذ يستطيع هذا عن طريق الاسئلة (المتتالية) ان يزيد في معلوماته . ونرى ان كل جواب بلا أو نعم هو خيار بين 2^n إمكانية متساوية ، ويقدم وحدة اعلامية هي « الهارتلي » . وعند تجميع عدد n من الهارتليات ، نحصل على اليقين . وبسبب هذه الاختيارات الاولية ، نستعمل لوغاريتمات ذات أساس 2 .

الواقع ، ان الاحتمالات ليست دائماً متساوية . ولكن بالامكان تبيين ان العدد الوسط من الاسئلة التي يتوجب على الباحث طرحها ، ان هو احسن اختيارها ، هو من مرتبة H وان هذه العبارة تكون تقريبية جداً اذا كان عدد التوقعات كبيراً . ان هذه العبارة H قد دُرست أيضاً من قبل هالفن E. Halphen (1939-1940 ونشرت سنة 1947) . وسلط هالفن كل انتباهه على الاحتماليات ، فادخل عنصراً ملحوظاً هو f. c الضمني وقدم عبارة العزوم الضمنية .

هذا الحوار الاعلامي ، الملاحق حتى معرفة على درجات متفاوتة من الاكتمال هو بالذات حوار الباحث وحوار النظام الفيزيائي المدروس .

الاعلام المقدم بفضل العناصر ذات الارتباط العرضي (الاتفاقي) - إن الارتباط العرضي قد درس تماماً من اجل تمثيله عددياً . وجرى الكلام بداهة حول رابط قوي أو رابط ضعيف نوعاً ما . وطرفاه هما الاستقلالية والرابط الوظيفي الذي يمكن أن يكون تطابقاً نظيرياً [في الرياضيات التطابق النظيري هو التطابق بين عناصر مجموعتين بحيث أن كل عنصر من احداهما يتوافق مع عنصر واحد من الاخرى] .

وبحث جيني Gini وجوردان Jordan وك . بيرسون ، الخ . عن مؤشرات تأخذ في طرف ما قيمة 0 (صفر) وفي الطرف الآخر قيمة (1) ، وتكون دائماً محصورة بين صفر وواحد . وجمع فيرون Féron (1956) هذه النتائج مع نتائجه الخاصة .

ونشير في هذا السياق من الافكار إلى المؤشّر (الناجم عن بحوث شانون ، 1948) الذي يعطي الاعلام المقدم ، من قبل عنصرين عشوائيين ، احدهما عن الآخر ، ξ و η ويكون التعبير في الحالة المتقطعة :

$$I_{\xi\eta} = \sum_i \sum_k P_{\xi\eta}(ik) \operatorname{Log} \frac{P_{\xi\eta}(ik)}{P_\xi(i)\, P_\eta(k)}$$

إن هذا الاعلام هو عدم اذا كان الاحتمالان ξ و η مستقلين . ان مثل هذا المؤشر قد يطبق على عشوائيين مطلقين ، وعلى وظيفتين عشوائيتين . وقد أعطى نتائج ذات أناقة فخمة في الحالات اللابلاسية ، مع توسيعات متنوعة (غلفاند Guelfand ، كولموغوروف ، ياغلوم Yaglom ، كنتشين ، پنسكر Pinsker ، 1954 ، كورزليوغلو Korezlioglu ، 1959) .

إن العبارة $I\xi\eta$ (اعلام متبادل بين $\xi\eta$) يجب أن تكون أقل من الاعلام $I\xi\xi$ (من ξ بواسطة ξ) أو $I\eta\eta$. وبالفعل :

$I_{\xi\eta} - I_{\eta\eta} = \sum_i \sum_k P_i \Phi \left(\frac{P_{ik}}{P_i}\right)$ حيث $\phi = x \log x$ ولكن نعرف أنّ $P_{ik}/P_i = P(k/i) \leqslant 1$. إن الدالة ϕ سلبية في حالات القيم الاقل من الوحدة . وينتج عن ذلك انه عندما يكون ξ متغيّراً يكون الاعلام المقدم من η أدنى من الاعلام الذي يقدم من η عن نفسه، أي : $-\Sigma P_k \log P_k$ (أو من الاعلام المقدم من ξ). إن الاعلام المتوسط المرتبط $J\eta/\xi$ مع تثقيل P_i هو كما يلي :

$$J\,\eta/\xi = -\sum_i P_i \sum_j P(j/i) \log P(j/i)$$

هذا الاعلام المتوسط المرتبط يجب أن يضاف إلى الاعلام الهامشي بحيث يتحصل لدينا :

$$J_{\xi\eta} = J_\xi + J_{\eta/\xi} = J_\eta + J_{\xi/\eta}$$

نتيجة شوتزنبرجر ـ بإعطاء المقدار ـ الاعلام مسلماً معقولاً [المسلّم هو مجمل المفاهيم الاولى المقبولة بدون تبيين والمتخذة كأساس] استطاع شوتزنبرجر Schutzenberger (1954) أن يدخل في نفس عائلة إعلام فيشر ، إعلام شانون وآخرين : إعلام والد Wald أو إعلام الفرز Tri ، الخ . إنّ كلّ إعلام هو القيمة الوسطى ، الممتدة لتشمل مجموع حالات عملية خطية على لوغاريتم الاحتمال . ومن المعلوم ان الاعلامات التي لا تحقّق المسلّم المذكور ليست بالضرورة من هذا الشكل .

منطق المحتمل ـ إن نظرية احتمالية الاسباب ، كما تصورها ، أولاً بايس Bayes ثم لابلاس ، تهدف إلى المسألة العامة ، مسألة تقدم المعرفة ، عن طريق التقييم العملي أحياناً ، وأحياناً كثيرة أيضاً عن طريق الاحتمالات ذات الترتيب المتصاعد غير المحدّد عددياً بالضرورة .

وتتيح قاعدة بايس والصيغ المنسوبة إليه ، انطلاقاً من قانون للاحتمالية سابق على التجربة ، القول كيف يمكن للرصد أن يغير فيه . وسوف يعلمنا مثل هذا القانون في الاحتمالية شيئاً ما إن تمحور حول قيمة معيّنة .

إنّ تقديرات البارامتر (المتغيّر ، الوسيط) تسعى إلى هدف مماثل ، انما بوسائل مختلفة . وعلى كل يمكن أن نستمد منها معرفةً ذات طبيعة احتمالية ، بواسطة اسلوب فسحات الثقة . وانبثقت أساليب التقدير التي وضعها ر . آ . فيشر عن الصعوبات التي اعترضت تطبيق قاعدة بايس . فهذه القاعدة تقضي بأن يكون السبب (المتغير) معتبراً كمتغيرة عشوائية ، أو كعنصر عشوائي . وتكون الحالات ـ التي تشكل فيها المجتمعات الإحصائية المدروسة بذاتها ، عيّنة من مجتمعات ذات بنية معروفة ـ مُرْضيَة ولكن نادرة .

ولكن من النادر جداً أيضاً ان لا نعرف شيئاً عن المجهولات المدروسة ، دون القدرة ، في

كل حال ، على تحويل هذه المعارف إلى الاحتمالات بواسطة الاساليب الكلاسيكية . من ذلك ان التاريخ يقدم الكثير من الاحاجي مقرونة باعلام أساسي غير مكتمل . واقترح أ . هالفن (1955) ادخال مفهوم « الارجحية » (المختلف تماماً عن مفهوم ر . آ . فيشر) ، وهو مقدار سيكولوجي يمكن أن يزداد أو ينقص عن طريق تغير « المجموعة الفرعية » الملائمة . ولكن ليس من « المحتم القريب » توضيح قيمة عددية ، ويمكن دفع هذه المعرفة إلى الامام بالرصد وبالتجربة .

وكما أشار موررلات Morlat (1962) تتميز فكرة الارجحية بالجدوى الكبرى الناتجة عن استباق الاحتمالية من حيث المرتبة ، بالعمل الفكري . وربما اثبتت فكرة الارجحية ضلال وعقم بعض المنازعات التي تعود في تاريخها إلى بايس ولابلاس . والصورة المجردة التي تُعطى عن هذا المقدار السيكولوجي تبدو كاحتمالية ذاتية . لا شك ان مفكرين عظاماً ينفرون من استعمال مثل هذه الاحتماليات ، من النوع الذاتي . والواقع ان الاحتماليات كلها هي ذاتية بشكل من الاشكال . وكذلك الحال بالنسبة إلى المنفعة التي هي الصورة التجريدية للقيمة .

أصول نظرية القرار ـ منذ زمن بعيد جداً والناس يفكرون في كيفية السلوك تجاه لا يقينية المستقبل . وحساب الاحتمالات الذي يلعب اليوم دوراً مفيداً جداً في هذا البحث ، كان له منذ البدايات ، ارتباط مباشر نوعاً ما به . إن الرجحانية (الاحتمالية Probabilitisme) كما هاجمها پور ـ رواپال Port-Royal [دير راهبات أسس في فرنسا سنة 1204 ثم وسع ، كان مهد حركة الجنسينية وهي قدرية تسليمية تدعو للعودة إلى الضمير قبل السلطة] كانت يومئذ بشكل خاص ، على ما يبدو ، نوعاً من الاعذار لسلوك مخاطر ، ما أن كان يوجد احتمال ولو ضعيف جداً . وفتش باسكال Pascal وفرمات Fermat (1654) عن القرار المعقول ، في حالات تتوفر فيها قيم عددية للاحتمال وللمبلغ الذي يربح أو يُخسر . ان القيمة المتوقّعة الرياضية كانت تشرع آنئذ بشقّ طريقها .

وهدف كتاب « من الافتراضات » «Ars Conjectandi» (1713) لـ جاك برنولي Bernoulli كان التطبيق على السلوك . وكان ليبنيز مقتنعاً تماماً بدور حساب الاحتمالات كفرع من المنطق وكاداة مفيدة أيضاً . « ان القيم التجريبية ، وان كانت غير مضبوطة ، يمكن ان تقدم خدمات عملية جدية » هكذا كتب سنة 1703 . وقد نصح ج . برنولي ان يركز على معرفة كل الإعلام الممكن بدلاً من التركيز على الرهافات الرياضية .

وقدم دالامبير D'Alembert تحفظات ، معقولة نوعاً ما ، تجاه استخدام ج . برنولي للقيمة المتوقّعة الرياضية . أما لابلاس ، فلم يتردد ، بعد استعمال التعريف الكلاسيكي ، في الكلام عن الاحتمالات في حالات أعم بكثير . ولم يقدم ، على العموم ، قيماً عددية ، ولكنه قارن بين المجموعة الفرعية والمجموعة العامة . وقد أتاح ادخال تعريف دقيق للاحتمالية من قبل أ . بوريل ، والبدهنة من قبل كولموغوروف ، طرح مسألة المجموعة بشكل أكثر تأكيداً .

هناك حالات تكون الارض فيها صلبة جداً ، مثل الرقابة على الصنع . وبالمقابل ، ان البحث عن قرار ، في حال وجود خيارات ، هو مسألة صعبة ، تبقى صيغتها مبهمة نوعاً ما . ومواجهة تمثيل الشكوك كانت هدف نظرية واسعة جداً حول الاحتمالات .

وقامت حركة واسعة جعلت من نظرية القرار الاداة الاساسية ، التي تشمل نظرية الاحتمالات ، ونظرية الالعاب [العاب الحظ] ونظرية الجدوى الخ . هذا التيار الفكري الخصب جداً أتاح دراسة لمجمل البديهيات [المسلمات] المعتبرة معقولة في السلوك . ولكن هذه المسلمات كانت أحياناً متعارضة ، والتأمل حول هذه النقطة الاخيرة مفيد للغاية .

وقد أثارت ندوة دولية حول « أسس وتطبيقات نظرية الخطر في الاقتصاد القياسي » (1952) نقاشات حادة . وفي ندوة ثانية ، للسنة 1955 ، بُحث في « النماذج الديناميكية في مجال الاقتصاد القياسي » . وأخيراً في سنة 1959 ، برزت في ندوة « حول القرار » الاعمال والتحسينات الجارية حول هذه المفاهيم الجديدة .

وقدم رامسي Ramsey وب . دي فينتي B. de Finetti الانطلاقة في هذا المضمار الذي يقوده مفكرون أذكياء وأقوياء . وشكل ج . ل . سافاج J. L. Savage الذي أثار اعجاب المجتمعين في سنة 1952 ، « مجموعة بديهيات » (Axiomatique) كانت عرضة للنقاش (أسس الاحصائيات ، نيويورك 1954) ، وقد أدّت إلى النتائج التالية :

1 ـ توجد احتمالية عددية ، مرتبطة بالحالات المستقبلية ، وخاضعة لقواعد حساب الاحتمالات .
2 ـ توجد جدوى عددية مرتبطة بالنتائج .
3 ـ إنّ الخيارات المحدثة غايتها بلوغ الذروة في القيمة المتوقّعة الرياضية للمنفعة .

هذه الوجهة من النظر ـ التي ترتكز على وجود أفضليات تخضع لبديهيات ـ قابلة للنقاش الحاد ، ولكن عمل Savage بدا محفزاً للغاية .

وكذلك الحال باعمالٍ من مثل اعمال ميلنور Milnor (تفاعلية القرار ، نيويورك 1954) . ودلت امثلة بسيطة نسبياً عن قرارات يجب اتخاذها ، مع الاخذ بالحسبان المستجدات الميتورولوجية غير المتوقعة ، ان الاستنتاج الحاصل يختلف تبعاً لمعايير معتمدة . وكون هذه المعايير ليس لها قيمة شاملة يؤكد على التعقيد المستمر في المسائل الواجبة الحل .

إن نوعية الذين يعملون في هذه المسائل تطمئننا على كل حال ، على ان نظرية القرار في مواجهة الشكوك تسير إلى الامام ويتوجب ـ من اجل معالجتها ـ الكثير من الذوق ، والفراسة ، والذكاء ولكن ـ كما اثبت الذين كتبوا حول هذه المسائل ـ يمكن العثور فيها على عون فعال من القرارات الحقة (لوزورن J. Lesourne 1958 ؛ پ . ماسّي Massé 1959 ؛ وج . ث . غيلبوه Guilbaud 1959) دون التخلي مع ذلك عن هذه الرقابة على اللعب التي قد تمكن من حلول أكثر ذكاء .

الفصل التاسع

السيبرنية

إذا لم يوجد أي مجال علمي لم يقترن ظهوره وتطوره بالمصاعب ، فإن ولادة السيبرنية [العلم الذي يدرس أواليات الاتصالات والتوجيه في الآلات والبشر] وخطواتها الأولى كان ولا شك أقل يسراً ـ عند ظهورها ـ من أي فرع آخر من فروع العلم . وهذا يعود بالدرجة الأولى إلى أن الامر يتعلق ببناء حديث قلّما تعرّض للمعالجة ؛ ويعود أيضاً إلى صعوبة فصل الخصائص العلمية عن المظاهر التقنية التي تعترف بها بشكل ضيق ؛ وأخيراً يعود إلى موقعها عند مفترق طرق العديد من المجالات المتميزة عنها ولكنها متعايشة معها تعايش تعاون . وقد ثبتت هذه الصفة في الكيفية التي ظهرت فيها السيبرنية . في سنة 1938 قرر العالم الرياضي نوربرت فينر Norbert Wiener وطبيب القلب أرثور روزنبلوت Arthur Rosenblueth القيام معاً باستكشاف « ما لم يتم استكشافه » من المعارف ، أي هذه المجالات المهملة لأنها واقعة في مناطق وسط بين مختلف العلوم . واتسعت مجموعتهما واستقبلت باحثين ينتمون إلى المجالات الأكثر تنوعاً ، وهكذا تكونت روحية تعميمية تُفيد ، بشكل متبادل ، البحوث الأكثر تنوعاً . وبشكل من الأشكال ، هذا نوعاً ما الشيء المشترك بين هذه المقدّمات المتنوعة هو الذي يستحق أن يعمّد باسم « سيبرنية » . ان أيساً من هذه البحوث لم يدفع به إلى نتائجه القصوى ؛ وفي الواقع توجد سيبرنيات يميل بعضها نحو الرياضيات ، وبعضها نحو الألكترونيك ، وبعضها نحو البيولوجيا ، وأخرى نحو التطبيقات الصناعية . ونتج عن ذلك كله منازعات تعريف حقة (.قامت جمعية دولية للسيبرنية ، أسسها ج . ر . بولانجه G. R. Boulanger ، فعقدت ثلاثة مؤتمرات دولية منذ 1956 أثناءها توضحت تعاريف السيبرنية وعلاقاتها مع الفروع العلمية الأخرى الملاصقة لها) .

وفي معناها الأقوى والأضيق ، لا تعتبر السيبرنية الا كنظرية في العمل الهادف وفي التكيف . وحول هذا الجذع بزغت مجالات عرف انتماؤها إلى السيبرنية من قبل البعض ، ورفض من قبل البعض الآخر . إنها نظريات الاعلام ، والاستنتاج والاستدلال الأوتوماتيكية والتكهّن ، وعقلية الدقة ، والقرار (مع تضمينها البحث العملياتي) ، وحتى التسيير الآلي (الأتمتة) .

I ـ نظريات الاعلام ونظرية الاتصالات

مختلف مفاهيم الاعلام ـ إن أول تصور واضح وعلمي حول مفهوم الاعلام الانتقائي يعود إلى نيكيست Nyquist (1924) (فيشر هو أول من أدخل كلمة « اعلام » بالمعنى الرياضي ، وذلك بمناسبة نظرية المصفوفات الهسية . وهذه النظرية وان لم تعادل تماماً مفهوم الاعلام الانتقائي ، فإنها تقترب منه بشكل كاف فتتميز بذات الوقت كما يتميز هو ، عن المعنى الشائع . راجع أيضاً الفصل السابق) .

وفي سنة 1927 قدم هارتلي هذا المفهوم خطوة إلى الأمام عندما بيَّن ـ بمناسبة النقل الجيد تماماً والاقتصادي للبرقيات ـ كيف يمكن قياس المقدار الذي يتوافق مع هذا النقل ، بواسطة وحدة سميت « هارتلي » ثم B. I. T « بتة » اختصاراً لكلمة (Binary Unit) .

ونتوافق هذه الوحدة مع الحالة التي يشار فيها ـ اذا كان الاخبار المعطى صحيحاً أو كاذباً ـ إلى أن كلاً من الاحتمالين له نسبة احتمالية بمعدل 50% . ويمكن العثور على عنصر داخل مجموعة وذلك باجراء انتقاءات عن طريق التناوب ، حين يُساوي كل « فرقان » dichotomie بتة واحدة (1 bit) ، وعدد البتات التي تسمح بالوصول إلى عنصر ما داخل مجموعة (n) من العناصر يساوي $\log_2 n$. والرسالة المقتضية عدداً (n) من الخيارات بين عدد (K) من الرموز تحمل كمية من المعلومات : $I = n \log_2 K$. والقاموس المؤلف من 000 100 كلمة يساوي 16 إلى 17 بتة .

في سنة 1948 و 1949 عاد ك . ي . شانون وو . ويفر من جهة ، ون . فينر من جهة ثانية ، إلى هذه الأعمال ،وأسّسوها على أسس رياضية متينة . وبعد ذلك بقليل درس كولموغورف وبلان ـ لابيير الصفة الاحصائية في الاعلام الانتقائي ، تحضيراً لربطه بنظريات أعم .

وبذات الوقت الذي كان فيه مفهوم الاعلام الانتقائي يزدهر ويصبح أكثر تماسكاً أخذت تظهر مفاهيم مجاورة مريْضة مثله ، انما متمايزة عنه بشكل واضح .

ومنذ 1920 وضع سير رونالد فيشر الطريقة الاحصائية ـ المسماة طريقة « خطوة التجربة » ـ التي تتيح الإفادة من المعلومات المحتواة ضمن مجموعة من المشاهدات بقصد تقليل الابهام في تقدير كمية مجهولة . وفي حين لم يعرف الاعلام الانتقائي ـ الذي يعدد الخيارات ـ الا الاعداد الصحيحة ، يصلح اعلام Fisher أيضاً في الحالات التي تصل فيها المعلومات بشكل مستمر . وهذا المفهوم ، المرتبط بتحديد الدقة الممكنة في تجربة مُجْراة بقصد تخمين كمية مجهولة ، يلعب دوراً مهماً في منهجية التجربة .

ويعتبر « اعلام والد » الذي اقترحه آ . والد سنة 1935 ودرسهُ نيمان انتقاءً بالغربلة المتتالية ، مقروناً بعدد المشاهدات أو التجارب التي يجب أن يقوم بها باحث لكي يتخذ قراره بين فرضيتين ، ان الاهمية الرئيسية في اعلام والد تقوم على أنه يتيح ـ عبر فصل جديد من الاحصاء الرياضي ـ القيام بالتحليل التعاقبي ، ومدّ جسر بين النظرية العلمية في الاستقراء ونظريات القرار والألعاب الاستراتيجية .

هذه الأنماط الثلاثة من الاعلام ـ وان وجب عدم الخلط بينها ـ لها فيما بينها ميزة ثمينة وهي امكانية ترييضها . يستخدم اعلام وآلد مقداراً ما يعمم به الاعلام الانتقائي . في سنة 1951 اقترح كولباك Kolback ور . آ . ليبلر Leibler تعميماً لمفهوم الاعلام يحتوي كحالات خاصة مفاهيم شانون وهارتلي وفيشر Fisher . وهناك مفاهيم أخرى إعلامية قد ظهرت أيضاً مختلفة نوعاً ما عن الانماط المريّضة التي ذكرناها .

والاعلام البنيوي هو مجمل المعلومات الذي يسمح بوصف وبتمثيل وبإعادة تكوين ، نوعياً وكمياً ، بنيةٍ أو شكلٍ ما (شيء مادي ، ظاهرة فكرية أو معلومة) . وتعادله مع الاعلام الانتقائي مقبول عموماً ، ولكنه لم يثبت على ما يبدو .

أما « الاعلام الدلالي » [علم دلالة الألفاظ وتطورها] (كارناب Carnap) ، أو « المعنى » فانه يمثل ما هو مشترك في الكيفية التي يفهم بها كل الناس تقريباً معنى الكلمة ذاتها ، أو الجملة ذاتها ، أو الرسالة ذاتها . وأما « الإعلام الجمالي » (1952 ، آ . مولز Moles ؛ م . بنس M. Bense) فيوضّح « حقل حرية » يحيط بكل إشارة في الرسالة . وأخيراً « الاعلام الشخصي » يتميز بالكيفية التي يفهم بها الفرد رسالة ما أو يستشعرها بخلاف غيره . وفي حين أن الاعلام الدلالي هو بين شخصين ومشترك يكون الإعلام الشخصي ذاتياً وتفاضلياً .

هذه المعاني المختلفة هي ذات تعاريف متنوعة جداً ، وفي أغلب الأحيان معرّفة تعريفاً سيئاً ، ولا يجب الخلط فيها ، ولكن النظرية العامة للإعلام التي قد تتيح ادراك ما بينها من علاقات ، تبقى واجبة الصياغة .

الإعلام والقصور ـ ان معلومات هارتلي ـ شانون (أو الاعلام الانتقائي) واعلام فيشر ، ووالد ، وفي النهاية الاعلام البنيوي ، لها محتوى « أقل غنى » من المعلومات الدلالية والشخصية . ولكن المعلومات الأولى [الانتقائية] تمتاز بأنها قابلة للترييض [من الرياضيات] . فضلاً عن ذلك ، ان واحدة منها ، الأفقر ، تتطابق ، وربما تتماهى ، مع مقدار أساسي موجود في الفيزياء هو القصور .

في سنة 1871 . كان ج . ك . ماكسويل G. C. Maxwell أول من فكر في تقريب مفهوم الاعلام من المفاهيم الأساسية في علم الطاقة (انرجتيك) . وسهّل ل . بولتزمان L. Boltezmann هذا التقارب عندما تعمق في مفهوم القصور وعرفه بأنه ، بفارق ثابتة واحدة ،يساوي لوغاريتم احتمالية تشكّل كياناً ما داخل مجمل مكونٍ من كيانات أخرى ممكنة .

ولكن إلى ل . زيلارد L. Szilard يعود الفضل في فهم هذا الاجتياح الذي حققه مفهوم الاعلام في مجال الطاقة . في سنة 1929 ، استعان زيلارد بالمفارقة الشهيرة المسماة « شيطان مكسويل » ، فبين ان معلومة « بتة » واحدة ، يجب أن تجر وراءها تخفيضاً في قصور هذا المجمل تساوي k log2 كما ان المصدر الذي تنبثق عنه هذه المعلومة يجب أن يرى قصوره يزداد بنفس الكمية . وبقول آخر ان القصور يستغني بالاعلام . ولكل معلومة قصور سلبي يوافقها .

ولم يثر عمل زيلارد Szilard الكثير من الصدى حتى جاءت الحرب العالمية الثانية التي عرفت النهضة السريعة والقوية في نظرية الاعلام . وعاد ن . فينر N. Wiener وشرودنجر E. Schrödinger كل على حدة ، إلى هذا التقريب بين الاعلام الانتقائي والانتروبيا (القصور الحراري) السلبية والذي سماه ل . بريلوين L. Brillouin : « نيغنتروبيا Neguentropie » . ومد د . غابور D. Gabor إلى الطاقة الكمية (الانترجتيك الكانتيكي) [من كانتا] حقل عمل الاعلام الانتقائي وقرر عدم استمراريته . ان أصغر كمية من النيغنتروبيا ـ اللازمة للحصول على اعلام من « بتة » واحدة ـ تساوي : 0,7k (باعتبار k ثابتة بولتزمان Boltzmann) .

أما مسألة معرفة ما إذا كان الاعلام الانتقائي متماهياً مع النيغنتروبيا ـ وانه يستطيع ، بالتالي ، كما يظن ل . بريلوين L. Brillouin ، أن ينضاف إليها ـ أم أنه يتجانس معها فقط وأنه يظهر بنفس الصيغة الرياضية ، هذه المسألة لم تحسم نهائياً على ما يبدو . ان اعلام فيشر مرتبط بقياس تقلبات النيغنتروبيا .

واتضح ـ منذ أعمال زيلارد وغابور Gabor وأعمال مال كي Mac Kay وج . لويب ، ورفالي وآ . بلان ـ لا بيير ، الخ ـ بصورة متزايدة ان النظريات المربّضة في الاعلام يجب أن توضح في أساس كل نظرية دقيقة حول القياس ، في العلوم الفيزيائية . فهذه النظريات وحدها تسمح بمعرفة التفاعل بين الراصد وبين العمليات التي بواسطتها يمكنه أن يقيس الظاهرات المرصودة .

نظرية الاتصالات ـ تدرس هذه النظرية المسائل التي طرحها البث ، والنقل والتلقي للمعلومات الانتقائية .

ان النظرية الرياضية حول الإشارة قد استكملها ج . فيل J. Ville ون . فينر ود . غابور وتولر ، والرسالة تتألف من تتابع إشارات تمثّل معلومات مكوّدة بشكل مناسب . ان مشاكل التكويد أو الترميز وفك التكويد كانت موضوع أعمال عديدة ، من بينها يشار إلى نظرية التقطيع أو الأوزان التي وضعها ب . مندلبرو .

وقد يشاب نقل الرسالة بعدة معيقات منها : التشتت ، التمزق ، الضجيج . وقد جذبت السيبرنية الانتباه حول الفكرة المعممة ، فكرة الضجة ، واتاحت دراستها رياضياً .

فمنذ 1940 بيّن فينر وكولموغورف الفائدة الحاصلة من النظر إلى الضجة كحدث احتمالي . ويمكن اعتبار اعلام والد Wald كإعلام مقرون بالضجة . ويتوافق « اعلام المتري » الذي وضعه ماك كي تقريباً مع العلاقة بين الزخم في الاشارة والزخم في الضجة التي تضيع معنى الاعلام .

ويدخل مفهوم الحشو والزيادة في العديد من الظاهرات الطبيعية ، في الكلام وفي طرق استقراء الكتابات السرية أو اللغات غير المعروفة تماماً . ودراسته محكومة بقاعدة صاغها شانون وأثبتها كنتشين .

ومهما كانت طبيعة وشكل سلسلة من المعلومات ، فإن نقلها يتعلق بالصفات وبمزايا القنوات

التي تنقلها . كتب آشبي Ashby يقول : « قبل أعمال شانون ، ساد الظن بأن تغيير القناة يمكن دائماً من نقل مزيدٍ ولو قليل من المعلومات » . الواقع هناك حدّ أعلى ممكن في الوحدة من الزمن ، كما بيِّن ذلك هارتلي وفينر وشانون ، فقد قدم هذا الأخير سنة 1949 ، الصيغة التي تدل على « طاقة » خط اتصال فيه ضجة . ووسعت هذه النتيجة ، في سنة 1950 ، من قبا غابور فشملت حالة المجالات غير المستمرة . فضلاً عن ذلك اخترع غابور وحدة اعلام « لوغون Logon » تستخدم لقياس طاقات قنوات النقل المستعملة .

وتشكل نظرية الاعلام ونظرية الاتصالات الآن بذاتها مجالات علمية تتمتع باستقلالية شرعية : انما بذات الوقت ، تتجاوزان بشكل واسع مجالهما الخاص ، وتقدمان خدماتهما في غالبية العلوم ، خاصة في السيكوفيزيولوجيا وفي العديد من التقنيات (ان الاذن البشرية حساسة حتى واحد من مليون من البتات بالثانية ، وللعين البشرية خمسمائة مليون بتة في الثانية ، والدماغ البشري يفكر على أساس عشر بتات في الثانية . ويرى ماك كي ان الاحساس بانسياب الزمن ليس إلا تقدير الغزارة (الكثيرة أو القليلة) في المعلومات ، والتي تدخل في وعينا بشكل مستمر عملياً . ونجد أيضاً نظرية الاعلام في محاولات تفسير أواليات الذاكرة واكتشاف الأشكال) .

II ـ أتمتة الحساب والاستنتاج

تطورات الآلات الحاسبة ـ تقدم لنا الآلة الحاسبة مثلاً جديداً عن مجال يبقى ان نقرر ما إذا كان ينتمي أم لا إلى السيبرنية . فتطور هذه الآلات يتعلق ، بصورة أساسية ، بتاريخ التقنيات ، فلا تذكر عنه هنا الا بعض النقاط الأساسية في تاريخ الآلات المسماة رقمية .

من المعلوم أن الآلات الأولى الحاسبة صنعت في القرن السابع عشر من قبل شيكارد (1624) Schikard وباسكال (1642) وليبنيز Leibnciz 1672 . والمرحلة التالية تصورها وحققها عالم رياضي ومحاسب هو شارل باباج Charles Babbage (1792 - 1871) الذي أدرك تماماً ما يجب أن يكون عليه تصميم آلة معقدة ، أي قادرة ، ليس على دمج الاعداد بحسب أي من العمليات الحسابية الأربع ، بل أيضاً على الجمع بين هذه العمليات وفقاً لسلسلة معينة ووفقاً لصيغة . وبفضل مساعدة استطاع ليس بناء مثل هذه الآلة ، بل على الأقل صنع مختلف اجزائها التي لم تجمع على الاطلاق ، وقد عرضت في المعرض الدولي في لندن سنة 1851 . وحتى لو تم جمعها بنجاح لم تكن آلة باباج لتعمل جيداً بسبب الصعوبات الميكانيكية المستقلة عن تصميمها .

وفي سنة 1879 ، بين لورد كلفن امكانية حل معادلات تفاضلية بواسطة آلة ، وعاد إلى التصميم ل . ونرايت L. Wainwright في سنة 1923 .

في سنة 1925 صنع ف . بوش V. Bush أول محلل تفاضلي ، ثم في سنة 1930 و 1962 ضمنه برنامج حساب .

في هـذه الاثناء ، وبفضـل العون التقني من شـركـة آي . بي . أم I. B. M عـاد هـ . هـ . ايكن H. Aiken إلى مسألة الآلات المعقدة عند النقطة التي تركها بابـاج ، وبين 1937 و 1944 صنع أول آلة ميكانيكية ذات برنامج أوتوماتيكي ، مارك I . في هذا الوقت ظهرت الـ « انيـاك » E. N. I. A. C وهي آلة الكترونية قادرة على القيام بـ 32000 عملية في الثانية ، وقد صممها ج . و . مـوكلي J. W. Mauckly وو . ج . اكرت W. J. Eckert في اطار الجهد الحربي الأميركي .

وبعدها سار تاريخ الآلات الحاسبـة الكبرى في اطـار الكتروني . هـذه الآلات ذات الانتاج المدهش دخلت في قطاعات يزداد اتساعها في الحياة العصرية .

وغـالبية الحسـابات المتعلقـة بادارة المشـاريع الكبـرى ، والمصـارف وشـركـات التـأمين ، والوزارات الاقتصادية والمحاسبات القومية ، أصبحت في عهدة هذه الآلات اليوم . وكـذلك أيضـاً حال الحسـابات التي لا تنتهي ، الضرورية في صناعة الصلب أو في تنظيم مسار السكك الحديديـة أو من أجل توجيه قمر صناعي . فمكتب الارصاد الجوية ، والمرصد ، والمعمل الذري ، ومسـرع الجزئيات لم تعد تعمل بدون هذه المستلحقات . وأخذت الآلات الحاسبة تغزو مختبر البيـولوجيـا والعيـادة الطبيـة . ونذكـر في هذا المجـال آلات الفحص (التشخيص) الاوتـومـاتيكي . وهي لا تطمح اليوم إلى الحلول محل الطبيب ، بل هي تقدم له تشخيصاً يأخذ في الاعتبار كـل التعقيدات الممكنة الكامنة في الاشارات الباتولوجية الملحوظة من قبل المريض أو الطبيب . ويبقى أمام هـذا الأخير أن يراجع التشخيص الأوتوماتيكي ويدقق به حتى يأخذ في الاعتبار المعطيات المختلفة التي لم يستطع ادخالها في الآلة ، مثل المظهر العام للمريض ، وسلوكه السيكولوجي الخ .

هذا التنوع في التطبيقات هـو منبع التقـدم المتنوع الـذي أعطى في الغـالب ثماراً بعيـداً عن تربتها الأصلية ، ورفعت بعض هذه الثمار بالنظرية بالذات الى ميادئها الأكثر خفاء .

ان التعـداد الثنائي ـ الـذي أوصى به ل . كـوفيغنال L. Couffignal منـذ 1938 ـ وصـل إلى درجة تبسيط المسـاعي الحاصلة داخل آلـة حاسبـة . ويمكن تحقيق هذا التعـداد بفضل أي تجهيـز توصيلي ، مثلاً التركيب المترجرج ، وهو حلقـة الكترونيـة ذات متأرجـح اخترعهـا أ . جوردان E. Jourdan سنة 1919 .

ولم يصبح تسجيل كمية كبيرة من المعطيات ممكنـاً الا بعد اختـراع « الذاكـرات » المتزايـدة الاتساع ، والتي يدخل ذكرها في « تاريخ التقنيات » . ان كـل عنصر في الـذاكرة قـادر على حفظ عدد من الحالات الفيزيائية ، يستطيع تتابعها أن يمثل أعداداً . وبالمقابل هناك تناغمات أو تواترات تتجول في ذاكرات ذات حلقات عاكسة ، وفي النهاية قلما توجد ظاهرة فيزيائية أو كيميائية لا يمكن استعمالها في الاتصالات ، وبالتالي ، من أجل خزن المعلومات أو ارسال أو قطع الاشارات .

يعود الفضل إلى ج . فون نيومان في فكرة تسجيل ، لا المعطيـات العدديـة فقط ، من مسألـة

ما ، بل أيضاً التعليمات التي تتيح حل هذه المسألة : فرز المعطيات ، عمليات حسابية أو مقارنات يجب اجراؤها ، الاحتفاظ احتياطاً بالنتائج ، الخ . وفي سنة 1951 ، اخترع ويلكس Wilkes تقنية « الميكروبرمجة » ، ومن 1952 حتى 1954 ظهرت « مكتبات » البرامج المصغرة ، وبرامج التأويل . المصرِّفات ، الخ . فضلاً عن ذلك أتاحت « سجلات المراجعة » ـ التي اخترعت سنة 1950 من قبل ف . و . ويلياس وت . كيلبورن وفريقهما في جامعة منشستر ـ تغيير بعض التعليمات بالضبط قبل تنفيذها .

إن ادخال التعليمات في الحاسب يشكل خطورة رئيسية . كيف يمكن التكلم مع الآلات ؟ فلكل نمط من الحاسبات « لغة » تتوجب معرفتها حتى تستجيب لنا . وبدت « لغة » الغول (Algol) التي اقترحت سنة 1958 في مؤتمر زوريخ قابلة للتكيف مع كل انماط الحاسبات المعروفة .

نظرية الآلات لمعالجة الاعلام ـ إن هذه العبارة « آلة حاسبة» هي عبارة مضللة نوعاً ما . وربما كان من الأنسب استعمال عبارة « آلات دامجة » ، من أجل المطابقة مع نوع العمل ومع تخصّص هذه الأجهزة . وتستبدل هذه التسميات اليوم بعبارة « آلة لمعالجة الإعلام » والتي تمتاز بأنها لا تحكم مسبقاً على المسائل المعالجة أو على الطرق المستعملة .

هذا الانتقال من الحساب « الاريتميتيكي » ومن المجال العددي إلى العمليات ذات البنية المنطقية (وربما من الأنسب القول « البنيات » باختصار) ما كان يمكن أن يتحقق دون أعمال التقريب التي قام بها فلاسفة ورياضيون ، أعمال توضحت في القرن التاسع عشر ، بعد خلق الحساب المنطقي من قبل Boole وبعد « بدهنة » الرياضيات بصورة تدريجية (راجع مجلد 3) . ولكن يبقى ربط هذه الدراسات بالبحوث التقنية حول الآلات الحاسبة .

ومُدَّ أول جسر منذ 1937 من قبل كل من أ . شالون الذي بين أن حلقات النقل الاوتوماتيكي تخضع للجبر المنطقي الذي قال به بول . ويستخدم هذا الجبر بالذات كاماس « لحاسبة الحقائق المنطقية » التي وضعها كولن Kolin وبوركهارد (1947) . ونذكر أيضاً الآلات المنطقية التي وضعها ماك كالوم وسميث Smith (1951) وآلات هـ . ش . هاتشر Hatcher (1959) وس . سيكاتو وأ . ماروتي .

وبذات الوقت الذي تحققت فيه هذه الإنجازات المادية ، على تواضعها يومئذ ، إنما التي كان لها الفضل بفتح مستقبل واعد ، قامت النظرية العامة والتجريدية للآلات التي تعالج الاعلام ، لتلحق ، بالتفاقة غير موقعة ، باحدى المكتسبات الأكثر أهمية في تاريخ الرياضيات الحديث . في سنة 1936 ، حدد آ . م تورنغ ما سميَ بـ « آلات تورنغ » . إن هذا التعبير لا يدل على أجهزة بنيت فعلاً . بل على النموذج التجريدي والعام لكل آلات معالجة الإعلام .

لقد صممت هذه « الآلات » لتقدم جواباً على السؤال التالي : « كيف يمكن بدقة تحديد مفهوم رياضي مناسب للفكرة الغامضة حول وظيفة الأعداد الصحيحة القابلة فعلاً للحساب ؟ » . بيّن تورنغ أولاً إن آلاته يمكن أن تنتمي إلى أنماط مختلفة بكمية قابلة للعد ، ومجموعتها وان كانت لا متناهية ، فهي لا تشكل إلا قسماً صغيراً من مجموعة الاعداد الصحيحة ، وقرر أيضاً أنه

بالإمكان تصور خطط « لآلة تورنغ شاملة » تستطيع اتخاذ نفس القرارات التي تتخذها آلة تورنغ خاصة مهما كان نوعها ، يمكن دائماً وصف بنيتها وتعليماتها بواسطة كود [مصطلح] وبواسطة « نحو » الآلة الشاملة ؛ اليس هذا هو وضع الإنسان تجاه الآخرين والعالم الخارجي ؟

هذه الافكار التي تدور حول تعريف البنية العامة ، والامكانيات والحدود التي تقف عندها الآلات في معالجة الخبر ـ سواء تخصصت في حسابات ارتميتيكية أو عمليات منطقية ـ كانت حاضرة في الجو . في نفس هذه السنة 1936 قدم شورش وكلين وكالمار وأخيراً بروست أجوبة تعادل رياضياً أجوبة تورنغ ، رغم انها قدمت بشكل لا يثبت امكانية تطبيق هذه الافكار على حل مسألة الفكر الاوتوماتيكي . والواقع منذ 1954 ، لقد قام ك . غودل K. Godel بحل نفس المسألة . وجوابه كان يتطابق مع هذه القاعدة المدهشة التي وضعها والتي تشكل بدون شك النقطة الأبرز والأحَدّ في تاريخ الجيومتريات غير الإقليدية وفي بدهنة الرياضيات بالشكل الذي توصلت إليه .

وكان لا بد من وجود رياضيين لتوجيه الآلات الحاسبة العملاقة ومن أجل ابتكار الاكمل منها ، ولكن الآلات الحاسبة قلّما تستخدم من قبل الرياضيين . ونذكر كنتائج رياضية خالصة ، العدد الأكبر الأول المعروف وهو $2^{4423}-1$ ثم الاعداد الـ 000 100 الكسرية الأولى من الـ π (1958 على آلة أي . بي . أم I. B. M 704) . لا شك ان فائدة هذه الانجازات كانت عدماً على الصعيد العلمي البحت . ولكنها تقدم الدليل على طاقات تتجاوز مستوى الحشرية الخالصة فقط .

أوتوماتية الالعاب الاستدلالية ـ ان بعض الالعاب الاستنتاجية الخالصة تنتمي في الواقع إلى مجال الرياضيات . وأهميتها أن مضمونها الترفيهي مقرون ببنيات تصعب معالجتها بالرياضيات التقليدية ، مما يلفت إليها جهود الرياضيين الطليعيين . والبحث في اخضاعها للاوتوماتية يقتضي تحليل بنياتها .

في سنة 1864 اقترح ش . باباج Ch. Babbage وكذلك د . روجرز سنة 1874 خطط اوتومات يلعب لعبة « الدوائر والصلبان » (تيك ـ تاك ـ توك) . وكانت أولى الآلات المصنوعة للعب بهذه اللعبة ـ المؤتمة (automatisé) على يد ب . كالدول Caldwell ، كانت آلات د . د . و . دافيس Davies (1949) ون . اليوت (1950) .

اما لعبة نيم Nim وهي حالة خاصة من لعبة صينية « فان ـ تان » فيمكن ان تعالج أوتوماتيكياً . وحلها يرتبط بدالّة غروندي (ش . برج وم . ب . شوتزنبرجر) التي ترد إلى نظرية الرسوم البيانية . في سنة 1951 برمج ف . و . ويليامس آلة فرانتي Ferranti ، بحيث يتأكد الربح في لعبة نيم (Nim) ، إذا لعبت الآلة الضربة الأولى .

ويمكن أيضاً أتمتةُ بعض أوضاع اللعبات ، بشكل كامل ، مثل لعبة الضامة [الداما] أو لعبة الشطرنج ، إنما بعد تخفيف العناصر بحيث تحصل النتيجة بعد ضربات عدة . وأول آلة يمكن أن تعالج بدقة وضعاً شطرنجياً معيناً ، صمّمها المهندس الاسباني ل . تورس كيفيدو : لقد صمم هذا الروبو سنة 1899 ، وصنع سنة 1911 ، بحيث يدور ميكانيكياً وكهربائياً ، ولكنه لم يكن سوى لغاية واحدة متضمناً معدات مختصرة جداً . ولكن ، بناءً على هذه المعطيات ، كان بامكانه ، انطلاقاً

من أي موقع مشروع وبشرط تلعيب الاوتومات أولاً ، ان ينهي الحصة بنجاح . ونقل الانجاز نفسه إلى منظم (حاسب) الكتروني على يد فان دربول Van Der Poel . وبعد ذلك ، صنعت نماذج أخيرة مبسطة نسبياً ، من ألعاب متنوعة ، فتأتمتت بكاملها . وأخيراً برمجت عدة آلات لمعالجة الإعلام بحيث تستطيع حل مسائل بسيطة في الشطرنج (د . برنز ، 1951) ولعبات أخرى .

التأويل السيبرنتيكي للظاهرات البيولوجية ـ سرعان ماتبين بأن موديلات البرامج أو أساليب التذكر ، المخصصة لآلات الحساب تتقارب أحياناً ـ بل وأحياناً تتشابه ـ مع موديلات الظاهرات البيولوجية أو الفيزيولوجية .

في سنة 1938 بيّن و . راشيفسكي W. Rachevsky ان موديلات تجريدية من الحلقات الكهربائية تمكن من التثبت من بعض خصائص الحلقات العصبية ، خاصة تلك التي تشكل سلاسل مغلقة . هذه ريّضها و . س . ماك كولوش وو . بيتس سنة 1943 ، ثمّ راندال وهوسهولدر وصيغت بواسطة جبر بول Boole ، ثم أخيراً دونت على أساس احتمالي . ومنذ 1922 ، قدم ر . لورنت دي نو الفرضية القائلة بوجود سلاسل من النيرونات الارتدادية في الدماغ ، قادرة على حفظ ايقاعات طيلة زمن طويل جداً ، هذا التفسير عاد إليه آ . فوربس A. Forbes (1929) وس . و . رانسون وج ك . هنسي Hinsey (1930) ثم تابعه حتى أيامنا لورنت دي نو وفون فورتر Von Foerter وباحثون آخرون .

ودلت التجارب التي أجراها سنة 1961 غيجو (Gaijo) على الدودة المتجددة بسرعة (المبطّطة Planaire) على ان ذاكرة هذا الدود وبالنسبة إلى بعض التكيفات مع الانعكاسات الشرطية ـ تتعلق مباشرة بوجود الاسيد « ريبونيكليك » Ribonucléique (A. R. N) وهي قابلة للانتقال إلى دودات اخريات ، بواسطة حقن مأخوذة من الأولى . ويبدو من هذا وجود دليل على ان الكائنات الحية تعمل كالات تتضمن برامج آ . د . ن (ADN) وذاكرة (A. R. N) .

وسوف نستعرض امثلة أخرى حول التفسيرات السيبرنية للظاهرات البيولوجية أو السيكولوجية . ونذكر مشروعاً ـ وان لم تكن له تطبيقات منظورة في الوقت الحاضر ـ من شأنه توضيح مسائل تدخل بعلم الوراثة : انها آلات ذات انتاج اوتوماتيكي اقترح خططها فون نيومان وشانون .

وضعت الآلة المنتجة اوتوماتيكياً على أرض تراكمت فوقها كثرة من القطع المنفصلة المختلفة ، فاستكشفت جوارها ، ودرست واحداً واحداً العناصر المختلطة ، وميزت تلك التي تلائمها فجمعتها في آلة أخرى منتجة ذاتياً ، شبيهة « بالأم » ومزودة بمحركها ، وباحتياطٍ من الطاقة .

وبعد ان بيّن ج . فون نيومان J. Von Neumann ، في سنة 1949 ، إمكان وجود حل ، اقترح سنة 1952 نموذجين مفصّلين . في حين يقترب الأول من اساليب انتاج البلور وبالتأكيد الجينات [عناصر الوراثة] ، يذكر النموذج الثاني بالتناسل الحيواني . فهو مؤلف من « صوما (جسم) » ـ تحتوي بالذات على اعضاء ادراك للبيئة ، وعلى اعضاء تعمل في البيئة وعلى جهاز مركزي ـ ومن

« جرمن (خلية وراثة) » ـ يتضمن اعضاء انطلاق وأعضاء توقف . وهناك مشروع آخر وضعه شانون Shannon . ان التشابه مع الحياة هو ولا شك بدائي . ولكن مجرد إمكانية صنع نموذج بسيط ـ وفضلاً عن ذلك ذي بساطة نسبية خالصة لان فون نيومان قرّر ان هذا النموذج يحتوي على ما لا يقل عن عشرة الاف عنصر ـ اعتبرت أمراً مبتكراً جداً ، منذ حوالي أربعين سنة .

III ـ نظرية القابلية للتكيف وتقنياتها

ان ولع الناس ، الساذج غالباً ، بالسيبرنية يعود في كثير منه إلى انها قد مكنت من صنع أجهزة تقلد قدرات الكائنات على التكيف . ويمكننا حتى ـ ودون ان ندخل في خطها نظرية الاعلام والآلات الحاسبة الالكترونية ـ تعريفها بانها علم التكيف ، وتحقيقاته في « الطبيعة » ، ونظريته التجريدية وكذلك تقنية اختراع الآلات أو التفاعليات التكيفية .

مشكلة المناشيء ـ ان السيبرنية ـ بالمعنى الضيق ـ لها سابقون ولها تاريخ قديم . وفيها سبقت الاختراعات التقنية التكون العلمي . فحوالي 1206 وصف [ابن] الجَزَري « ساعة الضوء » ـ وهي منظم للشعلة ، بكل شيء أو بلا شيء ـ وربما كانت هذه الساعة أول آلة معروفة تعمل ذاتياً . ودائماً في القرون الوسطى تجدر الإشارة إلى « برميل القمح » (baille - blé) . ان أول آلة ذات تحرك ذاتي تصورها مهندس وكانت مفيدة لآلة صناعية هي المنظم ذو الأكر لجايمس واط Watt (1790) ، هذا المنظم استطاع ان يثبت [دوران] الألة البخارية [عند وتيرة ثابتة] عندما كانت تنزع إلى الابتعاد عنها . وإذا يتعلق الامر بجهاز « تغذية استرجاعية » (feedback) كان ماكسويل قد حلل أواليتها ووضع مبدأها (1868) في دراسة شكلت أول تحليل نظري للتكيفية . ولكن بخلال فترة ما بين الحربين العالميتين أخذت تتوضح فكرة الارتجاع (الفيدباك) ـ الذي قدّمت هذه الدراسة تصوره ـ واكتسبت الاندفاع اللازم ويبدو ان معظم الفضل في ذلك يعود إلى هـ س . بلاك (1931) وإلى هـ . نيكويست (1932) . ثمّ تلاهما آ . روزنبلوث ون . فينر N. Wiener وج . بيجيلو (1943) ثم هـ . و . بود H. W. Bode (1945) . ان هذه الاعمال التقريبية يوضح بعضها بعضاً وتتوسع وتنفتح على امتدادات في كتاب ن . فينر : « السيبرنيتية »(1948) (Cybernetics....) ؛ وفيه أعلنت ولادة السيبرنية ومناهجها وطموحاتها .

اهمية مفهوم الفيدباك ـ ترتكز السيبرنية على مفهوم « الفيدباك » المقرون بغرض ما (ماكنة ، ظاهرة مادية أو اجتماعية أو كائن حي) مؤثر في محيطه بهدف الوصول إلى هدف معيّن . هذا الوسط لا يقوم فقط على الاطار الخارجي بل يمكن اعتباره داخل الشيء وفي العلاقات بين مختلف الاجزاء التي تتضافر على تشغيله . ويتألف « الفيدباك » من جهاز مكلّف بتأمين خمس مهمات :

1 ـ استكشاف الوسط لالتقاط المعلومات حول نتائج العمل المقرر ؛

2 ـ ادخال المعلومات هذه في الغرض المستهدف ؛

3 ـ قياس الانحرافات بين الاغراض المقصودة والنتائج المحققة ، في أوقات متنوعة .

4 ـ العثور بواسطة الحساب (الاريتمتيكي أو المقارن أو المنطقي) على الوسائل لتصحيح الاعمال التالية بقصد الحد من الانحرافات المحلوظة ، بشكل كاف ؛

5 ـ نقل هذه الدلالات إلى أجهزة الغرض ، المكلفة بدفعه لبلوغ النتيجة المرسومة .

وإذاً يتكوّن هذا الجهاز من معدات لاستكشاف المحيط ثم من تركيب يتضمن بدوره دخول المعلومات ، وأسلوب دمج هذه المعلومات ثم خروج توجيهات للعمل .

ان أسلوب دمج المعلومات قد يكون بسيطاً جداً (منظّم واطٌ ، ترموستات منزلي) أو معقداً جداً (أنظمة عصبية ، آلات حاسبة الكترونية) . وعندما نلاحظ وجود الأوالية دون القدرة على تفسير عملها بوضوح نعطيها اسم « العلبة السوداء » . وأخيراً ، وكما يحدث هذا في اغلب الاحيان ، في الحالات المعقدة ، مثلاً بالنسبة إلى آلات تتميز فيها الخيوط الكهربائية التي تمد التيار إلى المحركات عن الخيوط التي تحمل التعليمات (ان هذه الخيوط الأخيرة تحمل طاقة أصْغر بكثير من الخيوط الأولى) ، عندها يكون من المفيد استبدال كلمة « فيدباك » ـ انكلوسكسونية المنشأ ، ولكنها أصبحت عالمية الاستعمال ـ بعبارة « حلقة العمل الاسترجاعي » . وهذه التفاعلية يجب أن لا تلتبس مع ردة الفعل العادية التي ، عدا عن أنها تنتقل عموماً على نفس الخط الذي ينقل العمل ، لا تؤدي إلى تكيف غائي ، ولا إلى التوازن ، بالضرورة .

ان « الفيدباك » المخصص لتوجيه أوالية ما نحو هدف ما قد يكون سيء الضبط عند الانطلاقة ، أو انه قد يشذ اثناء سيره . وعندها يوشك ان يصحح بشكل غير كافٍ العمل الذي يقوم هو بتوجيهه ، أو بالعكس قد يحمله على تجاوز الهدف المحدّد له ، أو أيضاً قد يولد تأرجحات تجره تناوبياً ، ودون ان تتلاشى ، إلى تعدي الهدف تجاوزاً أو قصوراً . وتلاحظ هذه الظاهرة في الآلات (نيكويست ، 1932) . وتنبأ فينر بأن هذه الظاهرة تبرز في الكائنات الحية ، واستطاع روزنبلوث Rosenblueth أن يكتشفها فعلاً في بعض الأمراض العصبية . ويمكن دمج عدة فيدباكات فيما بينها ثم رصد أو ابتكار فيدباكات من الفيدباكات التي تتيح تحسين نوعيات التكيف في نظام ما .

ويجدر تمييز الأوالية الصلبة أو الكلاسيكية عن الأوالية اللينة أو السيبرنيتيكية . وقد سبقت الأولى الثانية في هذه الحركة التي تحاول أكثر فأكثر أن تستبدل الانسان بالآلة ، وفي ايامنا أيضاً ، ما تزال تتقدم إلى حد بعيد بالفعالية وبالأهمية . فضلاً عن ذلك ان ما يميز الأولى عن الثانية ، ليس هو التخلي أو اللجوء إلى الآلات لمعالجة الاعلام ، بل غياب أو استخدام الفيدباكات ، وبالتالي عدم القدرة أو القدرة على التكيف مع الاحداث غير المرتقبة .

والفيدباك ، مع احتلاله مركزاً ما يزال متواضعاً ، بالمقارنة مع مركز الأوالية الصلبة ، فانه آخذ في التسلل إلى قطاعات يكثر عددها وأحياناً غير متوقعة (انه ، ولا شك ، وعي هذه النقلة التكنولوجية التي تميزت بها الثورة الصناعية الثانية ، هو الذي أدى إلى ابتداع ـ يجادل فيه كثيراً ـ كلمة automation (تآلُ) . ان هذه الكلمة ، التي ابتدعت في الولايات المتحدة سنة 1947 ، تحاول ان تحتل مكانها ، إلى جانب كلمة automatization (أتمتة) ، للدلالة على السيطرة

الكاملة ، وتهدف إلى تزويد الآلات بهذه التكييفية ، التي ظلت لمدة طويلة من مميزات الانسان وخدامه من الحيوانات) . ونكتفي بمثلين للتدليل على هذه التنوعية : الآلات الالكترونية التي تسمح بالتنبؤ بتراكم المنتجات المشعة الناشطة المضرة في بعض المفاعلات النووية ثم الآلات الكبرى الناقلة أو التحويلية في صناعة السيارات .

« الحيوانات الالكترونية » ـ ولكن بالنسبة إلى الجماهير ، ان السيبرنية ليست هذه الثورة الصناعية ، بمقدار ما هي حظيرة « حيوانات الكترونية » يثير سلوكها الرهبة بحق . فعدا عن وجهة النظر الناقصة هنا ، يخشى ان تضر ، بغير حق ، بإنجازاتها التي تعرض علينا موديلات بديعة ومنيرة حول سلوكات الكائنات الحية . منذ 1938 ، صمم ت . روس آلة قادرة ، عن طريق التجربة والخطأ (أي بواسطة الفيدباك) على الخروج من المتاهة . ولكن آلته كانت تنتقل على سكة حديدية . أنها « السلحفاة الالكترونية » للنيروفيزيولوجي الانكليزي ، غري والتر Grey Walter ، هي التي أشاعت ، في سنة 1950 ، هذا التقليد الالكتروميكانيكي في السير نحو الهدف من قبل كائن حي .

هاتان الآلتان الاستكشافيتان (Machina Speculatrix) مزودتان بقدرات ملحوظة نوعاً ما تمكنهما من تشكيل موديلات من أواليات تكيفية مفيدة في السيكوفيزلوجيا . فهي تستكشف محيطها ، وتظهر قدرة على الانتحاء الايجابي والسلبي ، وعلى الاختيار بين سلوك فعال وسلوك غير فعال ، وعلى البحث عن الاصوب وعلى « التعرف على الذات » في مرآة أو التعرف على فرد مماثل . وهي تمتلك نوعاً من الاستقرارية الداخلية ، وتحقق كل هذه الصفات بتوفير كبير وبساطة مدهشة في الوسائل .

وأدخل غري والتر تعقيداً على موديلاته الاساسية وحسن في انجازاتها ؛ وعلى هذا فالآلة الحديثة تمتلك انعكاسات مشروطة . وهناك موديل آخر وضعه الهنغاري آ . الجيان Algyan بعد جمع بين إحساس وآخر ، ارتقى إلى مرتبة عليا ، وضمَّ هذا الاحساس الأول إلى تعميم الثاني . وصنعت آلات عدة مماثلة قلما تعاب إلا بانها اطلقت عليها اسماء حيوانات اسطورية ، ولكنها تستطيع المساعدة في توضيح مسائل في السيكولوجية الحيوانية .

وعاد ر . آ . والاس Wallace إلى فكرة روس ، فصمّم في سنة 1952 مركبة مركزة على سكة حديدية ، قادرة على الخروج من متاهة ، عن طريق التجارب والاخطاء ، وعلى « تذكر » الحل . ونجحت فأرة شانون (1952) في نفس الانجاز انما وهي تتحرك بحرية . ويمكن ان نتصور بعض تطبيقاتها ، خاصة في المراكز التلفونية .

دور **الارتجاعات (الفيدباك) في البيولوجيا . الهوميوستازيا (تجانس الاتزان)** ـ خارج نطاق الاختراعات والتقنيات قلما نجد ارتجاعات إلا في الظاهرات المتعلقة بالحياة أو بالفكر حيث تظهر كثيراً وبصورة طبيعية وعلى المستويات الاكثر تنوعاً . ان كل هذه الظاهرات تتميز بتزاوج بين الوسط المحيط (حي أو غير حي) من جهة وإمّا بين فرد (حيوان أو نبات أو « وحيد الخلية »)وأما بين قسم من جهازه واما مع تشكيلة من عدة افراد ، من جهة أخرى .

وبين ر . غولداكر Goldacre ان حركات « الأميب » تنظّمها ارتجاعات بين الخلايا ، وان انقسامها يحصل بفضل ضمة من الاسترجاعات تربط بين النواة الخلوية وبين حشوتها « سيتوبلاسما » (1950) . انها معلومات تتجول بين « الآسيد ـ ديزوكسي ـ ريبو ـ نوكليك ADN » الموجود في النواة و « الآسيد ـ ريبو ـ نوكليك ARN » الموجود في السيتوبلاسما وهي تنظم تركيب البروتينات في كل خلية حية . والباحهون المجربون والمنظرون هم على الخط نحو ارتجاعات خلوية تغني السيتولوجيا [علم الخلايا] بموديلات ديناميكية .

ومتعدّدات الخلايا هي محل للارتجاعات المعقدة التي تستخدم العلاقات بين الخلايا ، والأنسجة ، والأعضاء والافراد : تنظيم الضغط الشرياني ، ومحتوى الدم من الغلوكوز أو الآسيدكربونيك ، ودرجة الحرارة ، والتحكم بالعضلات غير الارادية عند الولادة ، الخ .

ونجد ارتجاعات (د . وك ستانلي جونس D. et K. Stanley Jones) في سباحة قنديل البحر ، وحركات شفّار البحر ، وتطريق [زمن بيض] المول أو بلح البحر وتأرجحات الدود ، والسيطرة على الطيران عند الجراد ، وديناميكية البلات [بنت وردان] ، وكذلك أيضاً عند الفقريات امثال اللمبروا [سمك يشبه الحنكليس يعيش في المياه الحلوة والمالحة] ، الخ . ويمكن أيضاً تفسير امراض متنوعة ، وبعض المعالجات بواسطة الارتجاج : الصرع (ابيلبسي)، الشلل (بوليوميليت) الحاد المزمن ، والصدمات الكهربائية ، والصدمات الكيميائية والجراحة السيكولوجية ، الخ .

في الوظائف العصبية وفي الوظائف النفسانية (السيكوفيزيولوجيا) يُساعد على فهم أواليات الجهاز العصبي وعلى فهم الكيفية التي بها تمكِنُ احاسيسُنا حركاتِنا وافعالَنا من التكيف مع اهدافها . وقد استفاد « علم كهرباء الدماغ التسجيلي » من هذا التنوير ، وكذلك نظرية الانعكاسات الشرطية ، ونظرية التعلم والعديد من فصول علم النفس (ان نظرية الانعكاسات الشرطية التي قال بها بافلوف قد التقت واتصلت بعلم الكهرباء التسجيلي الدماغي في الوقت الذي استعمل فيه بولياكوف وليڤانوف أرانب سوية فوجدا في مسجلاتهما الكهردماغية ، مفاعيل شرطية الانعكاس) .

وأخيراً ان مفهوم الهوميوستازيا (الاتزان البدني) كما كان يرى قبل الثورة السيبرنية ، قد تجدد بفعل التثبت من دور الارتجاع . وإلى و . ب كانون (1926) يعود الفضل ، في آن معاً ، في ايجاد هذا المفهوم حول التوازن المحفوظ بفعل التكيف والكلمة التي نجحت . وعثر آ . ڤ . هل على نفس الفكرة سنة 1930 وعمّقها كانون سنة 1932 . ولكنهما لم يريا في الهوميوستازيا إلا حدثا رئيسيا ومدهشا ، دون أن يبينا أوالية هذا الاستقرار الفوقي المرتكز على انظمة ارتجاعية متدرجة .

ومن بين الاعمال التي اتاحت توضيح هذه الاوليات ، في النظام العصبي الحساس والمحرك ، نذكر تجارب مارينس Marines حول عضلات الكرة البصرية عند الهرّ وتجارب سبيري

Sperry حول العضلات القابضة والباسطة عند القرد .

ومنذ نشر « تصميم الدماغ » (1931) الذي يُصَنَّفُ ضمن كلاسيكيات السيبرنية ، لم ينفك الطبيب النفسي الانكليزي و . روس آشبي Ross Ashby يتفرّغ ـ سواء بتطبيقات عملية مبدعة أو بأعمالٍ نظرية ـ لهذه المسألة حول الاستقرار الفوقي . وكان مقياسه « هوميوستات » المتفوق أو « دامس « D. A. M. S الذي يتضمن مئة عنصر ، والذي يعمل الكترونياً ، فقد أمكن أن يوصف من قبل ن . ڤينر « بالآلة الداروينية » . ومع ذلك فقد كنا بعيدين أيضاً كل البعد عن ما يقارب عشرة مليارات من عصبيات الدماغ البشري .

واجتماعات الكائنات الحية تدخل من عدة نواحٍ في علم السيبرنية . فمن جهة يَقوم بين الاجناس الحية ووسطها نوع من التوازن قد يدوم طويلا بفضل ضمائم الفعل الارتدادي . ان دورات الكاربون والأزوت والعناصر المختلفة التي تمر بالتناوب ، عبر الكائنات الحية وبيئتها المعدنية ، وحتى بعض مظاهر تطور الاجناس ، تدخل في هذا الفصل من البيوسيبرنية العامة .

ومن جهة اخرى تلجأ المجتمعات البشرية والحيوانية ـ وبدون وعي في غالب الاحيان ـ إلى ارتجاعات اما من أجل استقرارها مرة أو من أجل تقدمها نحو بعض الاهداف مرة أخرى . ونجد مثل هذه الارتجاعات في كل البنيات وكل الظاهرات الاجتماعية ، وكذلك في العديد من الأواليات الاقتصادية ، وخاصة تلك التي تلامس التفاعلات بين الانتاج والاستهلاك والأسعار (توستن Tustin وهـ . غرنيوسكي Greniewski) .

IV ـ نظرية واتمتة الذكاء الحاد

يمكن اعتبار التكيفية ـ التي هي من سمات الحياة والتي ترتبط دراستها بالسيبرنية بالذات ، كوسيط بين روح الدقة ، التي تتمتع بها الآلات الاستنتاجية ، وبين روح الذكاء التي كان تحليلها وتركيبها واتمتتها الجزئية موضوع مشاريع طموحة ، ومقاربات متنوعة وانجازات تتفاوت جودتها .

استكشاف البنيات ـ انه التعاون بين الاختصاصيين في التلفون والاتصالات اللاسلكية ، والاختصاصيين في السمعيات والفيزيولوجيين في النطق وفي السمع هو الذي اعطى اشارة الانطلاق بواسطة طرق واجهزة قادرة على تحليل وتركيب الصوت البشري .

ونجد اللجوء إلى نظرية الاطناب أو الاسهاب في الڤوكودر Vocoder وفي الڤودر Voder ، وهما آلتان اخترعتا سنة 1936 و 1939 من قبل هـ . دادلي H. Dudley . في الارسال ، تمر الرسالة المقروءة عبر سلسلة من المصافي المصفوفة بالتوازي . فإذا جردت من الزوائد ، تنقل التغيرات الاساسية إلى أصوات ، بذات الوقت الذي يجلب فيه خطاب موجز صيغةَ هذه الزوائد . ومجمل الاشارات المنقولة يمكن أن يكثّف بنسبة عشرة إلى واحد . وفي الاستقبال يعيد الڤودر Voder خلط هذه الرسائل ويعيد تكوين الصوت بذاتيته .

ان الأودري Audrey هي جهاز قادر على معرفة الصوت البشري وتمييزه من صوت آخر .

في سنة 1940 تصدى كوب وغرين لتصوير (مشاهدة) الكلام عند تسجيله . ولكن التعرف على الاشكال المرئية بدا اكثر صعوبة عند التحقيق من التعرف على الاشكال الصوتية . ان مسألة تمييز سمات نمط محدد يمكن ان تُعتبر محلولة من الناحية العملية . وليس الامر كذلك بالنسبة إلى « القراءة غير المشروطة » (ر . د . ي پوسيل R. de Possel) ، أي التعرف على النصوص المكتوبة باليد أو بالآلة الكاتبة ، أو المطبوعة بحروف غير معايرة . وعلى كل بدت المشكلة تحت الدرس من كل جانب ـ خاصة في الولايات المتحدة ، وفي بريطانيا ، وفي اليابان والاتحاد السوفياتي . وحلّها يتيح اعطاء الآلة نصوصاً لتحليلها بدون الحاجة إلى طبعها بالآلة الكاتبة مسبقاً انطلاقاً من مستندات مطبوعة أو مكتوبة باليد .

ان المسألة العامة المتعلقة بالتعرف على الاشكال والهيكليات من قبل آلات ، قد دخلت بالتالي في مرحلتها التجريبية . في سنة 1947 بيّن الاميركيان و . پيتس W. Pitts و . ماك كولوش ان امكانية الآلة في التعرف على الهيكلية ، عن طريق وصفها بعبارات اعلامية انتقائية ، ترتبط بعدم تغير سلوك أو آليةٍ ما تجاه مجموعةٍ من التحولات . ان « الادراك » الذي قال به د . روزنبلات (1960) يهدف بآنٍ واحد ، إلى جهاز للتعرف على البنيات الحساسة ، سواء كانت مرئية أم صوتية أو غيرها ، كما إلى نموذج من قسم من الدماغ .

الالسنية الواسعة النطاق ـ الترجمة والتوثيق الاوتوماتيكي ـ ان اللغة والالسن هي المجالات المختارة من أجل تحليلٍ وتركيب ، بل واتمته ـ ناجحة نوعاً ما ـ روحية الذكاء . ان الالسنية الموسعة ، سارت مساراً مستقلاً قبل ان تصل إلى السيبرنية . ونحن لن نقف إلا عند المظاهر الاحصائية التي ترتبط عموماً بنظرية الاعلام الانتقائي وباستعمال آلات معالجة الاعلام .

لقد بين ج . ب . استوب J. B. Estoup (1916) أولاً القانون الالسني ذا الجهد الاقل ثم درسه مطولاً ج . ك . زيف (1949) (G. Zipf) ، ثم انتقده وحسّنه باحثون متعددون وخاصة ب . مندلبروت (1955) الذي اعطى مفهوم « الحرارة » الاعلامية .

وعملاً بهذا القانون تتّبع وتائر كلماتِ الالسن الطبيعية صيغةً قطعية زائدة (هيپربولية) أو ، بقول آخر ، ان حقبها تتبع قانوناً خطياً . ان تواتر كلمةٍ ما هو مستقلٌ إذاً عن معناها الدلالي وعن وظيفتها النحوية . وهو لا يتعلق إلا بمرتبتها في لائحة الكلمات التي هي مستخرجة منها ، باعتبار ان هذه الكلمات قد رتبت وفقاً لنظام التواتر . من ذلك انه في لغة حسنة الصنع ـ وهذه هي حال كل اللغات الطبيعية ـ ينتقل الاعلام ـ بفضل ائتلاف الموسل والمتلقي ضد « الطبيعة » ـ بالثمن الادنى ، وينسجم تطور لغةٍ ما ، اجمالاً ، مع قانون الفعالية الأقصى في توزيع الكلمات . وقرّر ڤ . بيليڤيتش Belevitch ، بالنسبة إلى حروف الأبجدية ، قانوناً شبيهاً بقانون زيف المصحح من قبل ماندلبروت .

وكان على الاحصاء ان يتدخل بشكل آخر ، في الالسنية الواسعة ، بفضل الرياضي الروسي آ . ماركوڤ الذي حلل ، في سنة 1913 ، ليس فقط تواترات الكلمات ، بل أيضاً تواترات

تسلسل الكلمات في قصيدة شهيرة لبوشكين Pouchkine . وفي سنة 1948 اجرى شانون تحليلاً ماركوفيا للغة الانكليزية المكتوبة لا على مستوى الكلمات بل الاحرف .

ان هذه البحوث قد اتاحت تقدم طرق حل رموز البرقيات التي لا نعرف قانونها ثمّ تقديم نظرية علمية للكلمات المتقاطعة ، وظهرت هذه البحوث مفيدة في اكتشاف النصوص المشبوهة أو المشتبه بانها مزوّرة (مقارنة نصوص العهد الجديد وبدائله : ج . و . اليسون Ellison 1953) ، أو في اقتراح الاستكمالات المحتملة ضمن نصوص تلفت بعض مقاطعها القصيرة أو باتت غير مقروؤة (مخطوطات البحر الميت ، الخ) .

وأخيراً اتاحت الطرق الماركوفية تركيب نصوص مكتوبة ، قصيرة ومفهومه ، وكذلك أيضاً توليفات موسيقية ناجحة بمقدار ما تهدف إلى صنع « متوسطات » انطلاقاً من نماذج بسيطة . وهناك مشاريع أخرى ، أكثر طموحاً ، تتناول اعمالاً موسيقية أو أدبية أكثر اصالة وتميّزاً .

وإذا كانت الترجمة الاوتوماتيكية محتاجة أشد الاحتياج إلى معرفة معمقة بالالسنية وبالالسنية المضخمة الواسعة ، فانها بالمقابل خدمت في تبيين مقدار عناء هذين المجالين في اداء هذه المهمة الجديدة ، وكان لها الفضل في دفعهما إلى تفهم ادق وأوضح لأغراضهما .

ويبدو ان العالم السوفياتي ب . ب . س. تروجانسكي P. P. S. Trojanskij كان له الفضل الأول في تجاوز مرحلة الافكار العارية عن الاسس التكنولوجية .

ان مشروعه حول الآلة المترجمة ، المرتكزة على مفاهيم ثورية وصحيحة ، والمسجّل منذ سنة 1933 ، قد رفض سنة 1939 وسنة 1944 . واعتمدت نفس المبادىء ، بعد ذلك بعدة سنوات من قبل علماء وتقنيين كانوا يجهلون اعمال هذا السباق .

وعلى اثر المناقشات بين ويفر W. Weaver و أ . د . بوث حول فك الرموز وحول استعمال آلات حاسبة الكترونية ، وضع بوث وهـ . ڤ . بريتن سنة 1947 تقنيناً يتيح تضمين نفس الآلة قاموساً مزدوجاً . في حين عالج هـ . ريشنسّ (1948) H. Richens و ويفر (1949) مشكلة الترجمة على الصعيد النحوي ، افتتح العديد من الباحثين الاميركيين (أ . ريفلر ، اسوالد ، فلتشر وبول ، ي . بارهيل) عصر البحوث المنهجية على صعيد أكبر .

في كانون الثاني سنة 1954 ، وفي نيويورك ، ترجم حاسب من نوع I. BM. 791 ـ بواسطة معجمية متواضعة من 250 كلمة ـ تحت اشراف الدكتور دوسترت ، إلى الانكليزية بعض النصوص الروسية القصيرة ، ومهما كانت السمة البدائية لهذا الانجاز، فإنّه قد أدخل الترجمة الأوتوماتيكية إلى حيّز الواقع .

وعقد أوّل مؤتمر دولي حول الترجمة الأوتوماتيكية منذ 1952 ، وفي سنة 1954 ، صدرت أول مجلة مخصصة لهذا المجال العلمي الجديد باسم ميكانيكال ترانسلايشن Mechanical translation . وفي سنة 1955 تصدى الاتحاد السوفيات ـ باشراف رازونفسكي وكوروليف ونسمجانوف وزبنكفي ـ للمسألة ، وفي سنة 1956 ، بدأت الآلة B. E. S. M أولى ترجماتها ، من

الانكلزية إلى الروسية . وفي بريطانيا ترجم الدكتور بوث من الفرنسية إلى الانكليـزية (1955) . ثم مع Locke اقترح انشاء قاموس مشترك يستخدم للانتقال من مطلق لغة إلى مطلق لغة أخرى . وبعـد ذلـك اندفعت البلدان الكبـرى العصريـة ـ المانيا ،الصين ، فرنسـا ، ايطاليـا ، السويـد واليابـان ، الـخ . ـ في السبـاق . واخـذت التقنيـات تتثبت . وتتضمن المتـرجمـة الاوتـومـاتيكيـة في مختبـر الحساب في هارفارد Harvard (ف . آ . غيليانـو وآ . غ . اوتنجر 1958) ، شـريطاً مغنـاطيسياً ، قـاموسـاً روسياً ـ انكليـزياً يتضمن 22000 جـذر من الكلمات الـروسية . وهنـاك مترجمـة اخـرى ، صممهـا ج . و . كينغ (M. 1962 I. B.) G. W. King تتـرجم ، وبشكل ممتـاز ، 60000 كلمـة إلى الانكليزية كل يوم .

وإذا كانت مرحلة الترجمة الدقيقة ما تزال فوق المتناول ـ إذ هي تتعلق بشكل خاص بامكانيـة مراكمة المعلومـات التفصيلية ـ إلا ان مستـوى الترجمـة الفج قـد زال اليوم . ومسـألة الاختيـار بين مختلف معاني الكلمة الـواحدة اخِـذت تنحل بصورة تدريجيـة ، إلى الاحسن ، بفضـل مـا يسمى « بالحقول السيمنتية » [علم دلالة الكلمات] لهذه المعـاني ، وأدخال القـواعد النحـوية المتـزايدة الدقة يتبع تقـدّم معجمية تعمل ضمن الاتجاه المبتغى من قبل الترجمة الحرفية .

وكذلك ، التوثيق الاوتوماتيكي اصبح أكثر ضرورة لامكانية السيطـرة على تدفق النصـوص العلمية التقنية والاقتصادية التي لم يكن التـوصل إلى تـرجمتها وإلى تصنيفهـا ولا إلى العثور عليهـا مجدداً حتى بواسطة التصنيف الكلاسيكي المدروس .

ومنذ 1936 ، وضعت اساليب متنـوعة من اجـل استخدام آلات البـطاقات المثقبـة في مجال التوثيق ، واقتراح حلول لمشكلة التصنيف البشري في آلات ، مع الاستعانة الوثيقة نـوعاً مـا بالآلـة من أجل العثور على مستند في السجلّ أو في الكاتالوغ .

وبعد الاستعانة بالتصنيف العشري العالمي ، اعتمدت هذه الـطرق المتنوعـة ، التي يدخـل وصفها في تاريخ التقنيات ، تقنيات أكثر ملاءمة لاهـدافها . ومنهـا تصنيفات منهجيـة (تسمى ذات تسلسل قوي) متمثّلة برسيمات شجرية ، ولا تستعمل الا علاقة التضمين ، وهكذا تم الانتقال إلى رسمات مشبّكة مستنـدة على علاقـات اخرى ، ومـرتكزة على تسلسـل ضعيف . والسباق في هـذا المجـال هـو ب . اوتلت (1895) P. Otlet الـذي ادت افكـاره ، التي اعـاد اكتشـافهـا رانغـانـاثـان (1933) ، Ranganathan ثـم ج . كـوردونيـه (1943) G, Cordonnier إلـى « التـصـنـيـف ذي الاوجه » . وقدمت انماط متنوعة أخرى من التصنيفات : بواسطة الكلمات المفـاتيح (مـورس) ، والجمـل المفاتيح (هـ . سلي Selye) ثم طريقـة العبارات المـوحدة (M. Taube) ، ثم القـانون السمانتيكي (بيري Perry) ، الخ .

وكـان من الممكن اتمتة التـوثيق بصورة كـاملة ، لـو كـان يكفي تقـديم الـوثـائق مجتمعـة ، وبحسب ترتيب ورودها ، إلى الآلة ، مع تخويلها عناية قـراءتها ، ثم استبعـاد ما لا يستحق الحفظ منها ، ثم تحليل الاخريات ، وتصنيفها ثم العثور عليها سنداً لدلالة هذه الافكار . ولسنا هنا إلا في البحوث الاولى ، ولكن السوفياتي غوتنمكر (1956) Gutenmaker والاميركيين ش . پ . لوهن .H

P. Luhn وينغف Yngve قد عالجوا بحزم التحليل الاوتوماتيكي للنصوص . وعلى اثارهم ، جهد باحثون عديدون من مختلف البلدان في العودة الى التحليل اللغوي البنيوي للنصوص بعد سكبه في قوالب رياضية مأخوذة عن نظرية المجموعات ، وعن الجبر التجريدي وعن الطوبولوجيا الجبرية وعن نظرية الرسوم البيانية (Graph) . وبوشر بالدراسة الموازية لمبادىء الترجمة الاوتوماتيكية والتوثيق الاوتوماتيكي من قبل مجموعة م . ماسترمان ومن قبل شومسكي (1957) وس . سكاتو وك . أ . هارپر ود . ج . هايس (1959) ، الخ .

نظرية الالعاب الاستراتيجية - في مذكرة من سنة 1921 ، أرسى أ . بوريل الاسس الأولى لنظرية الالعاب الاستراتيجية . وفيها عرض حالة خاصة لما كان يسمى بالقاعدة الاساسية (وبموجبها يتساوى الاقصى مع الادنى) ، وقد قدم البرهان على هذه القاعدة سنة 1928 ج . ڤ نيومان ، ثم حولها إلى نظرية أولية ج . ڤيل سنة 1938 . ونشر فون نيومان ، الذي استمر يفكر بهذه المسائل ، سنة 1944 بالتعاون مع الاقتصادي أ . مورجنشترن Morgenstern ، كتاباً شهيراً هو « نظرية الألعاب والسلوك الاقتصادي » . وفي نفس الوقت الذي نشأ فيه هذا المجال الجديد ، أمَّن له التقاؤه مع نظرية الاعلام ومع البحث العملياتي قواعد اقوى وتشابكات مثمرة . وتمت فيه ريضنة مفهوم الخدعة لأول مرة . وفي سنة 1951 ، عقدت في الولايات المتحدة ندوة حول « نماذج الشخصية » .

ويجب ان نفهم من عبارة « ألعاب استراتيجية » ، ليس فقط ألعاب التحليل العقلي الخالص ، وهي الالعاب المسماة « العاب الاعلام الكامل » مثل لعبات الداما والشطرنج ، بل أيضاً الالعاب المتضمنة جزءاً من الحظ ، شرط ابقاء مكان للتعقلن . والتعقلن قد يتناول ، ليس فقط العناصر المادية في اللعبة ، بل أيضاً الافكار التي يكونها كل لاعب عن مرامي خصومه . وهذا العنصر الاخير ، الذي قد يتمظهر بشكل سلوك خدعي ، يشكل بالذات جوهر لعبة مثل « المزدوج أو المفرد » ، أو البوكر . ونجد هذا العنصر في الصراعات العسكرية والسياسية والتجارية أو الاجتماعية .

لقد تضمنت الانماط الاولى للالعاب التي درسها ڤون نيومان عدداً محدداً من الاستراتيجيات المسماة « خالصة » . وعمم ج . ڤيل وا . والد هذه الاعمال وعالجا حالات الالعاب التي لا نهاية لها وحتى اللانهائية المستمرة . ودرست نظرية الالعاب المتبادلة (أي بين خصمين فقط يلعب كل منهما بدوره) من قبل برج (1952) . أما الالعاب لاكثر من لاعبين ، والتي تحتمل أولاً وجود تحالفات (اضطرارية واختيارية) ، والتي كانت غير معروفة بصورة جيدة يومئذ ، فقد درست منذ 1950 من قبل شاپلي وشوبك .

وكانت أتمتة الالعاب الاستراتيجية موضوع العديد من المحاولات المتفاوتة النجاح . فقد تناولت بعض المحاولات لعبة « المفرد والمزدوج » ، وهي حالة قصوى ، تتداخل فيها الخدعة والحيلة ، أو اكتشافهما ، 100 % في تحليلات الخصمين . وبالمقابل نجد عدة آلات قادرة على اللعب بشكل لا يخطىء ، ألعاباً بسيطة نسبياً ، أو على حل مسائل بسيطة من الالعاب المعقدة

مثل البريدج ، أو الداما أو الشطرنج . هذه الآلات ، ذات النمط الاستقرائي ، تستعمل طريقة تسمى طريقة الحدود الدنيا ، التي تقوم ـ في حالة معينة تلعب فيها الآلة ـ على ترصد كل الضربات المتاحة لها ، ثم مراقبة كل ضربات الخصم ، رداً على كل منها ، وهكذا دواليك ، إلى ان تبلغ هذه الآلات سلسلة من النتائج النهائية ؛ ثم بعد مقارنة الدروب المؤدية إليها ، تحدّد الضربات التي تتيح بالتأكد التوصل إلى النتيجة المبتغاة .

وتختلف تماماً المسألة التي تقوم على تلعيب لعبة لم يمكن ، بصورة كاملة ، التغلب على تعقيدها . فقد توجب تلقيم ذاكرة الآلة عدداً من المبادىء التي اكتشفها الناس ، وثبتت احقيتها علمياً . وتكون النتيجة أقل ارضاءً كلما كانت اللعبة اكثر تعقيداً . وقد تم التوصل إلى نتائج ملفتة في لعبة الداما في حين اثارت لعبة الشطرنج ، منذ 1950 ، العديد من محاولات الأتمتة الجزئية ، وبدت نجاحاتها محدودة جداً .

التنبؤ . القرار . البحث العملياتي . لعبات المشاريع ـ ادت مسائل القرار ، عندما تطرح نفسها عند المستوى الذي لا تكفي نظرية اللعبات الاستراتيجية لحلها ـ نظراً لنقص العديد من المعلومات الدقيقة أو عندما تكون المعلومات المتوفرة أو التي يمكن التوصل إليها ، بأعداد مرهقة ـ إلى خلق ما يسمى « بالبحث العملياتي » ، وهو مجال وجد مجالات عمله المفضلة في العمليات العسكرية ثمّ في الاقتصاد .

في سنة 1939 ، قامت مجموعة بريطانية بقيادة روو A. P. Rowe ، بمعاونة الجيش في مسألة اكتشاف الغارات الجوية . وبعد اعلان الحرب تابع الدكتور أ . س . ويليامز هذه الاعمال . في هذا الوقت بالذات دخل إلى اللعبة ، وبادارة ب . م . س بلاكت P. M. S. Blackett « فريق بحوث عملياتيه » يتضمن حوالي عشرة من العلماء من مختلف المجالات وبعض العسكريين . ولعب البحث العملياتي دوراً في الانتصار الذي حققته بريطانيا في المعركة الجوية على لندن ، حين اتاح القرار العقلاني في تشكيل وفي توزيع المجموعات ، ونقاط تركيزها ، ولحظات دخولها في العمل . كما اتاح أيضاً حل مسألة الاشكال والاحجام التي يجب ان تكون عليها قوافل البضاعة المحروسة ، العابرة للاطلسي . مما قلل إلى ادنى حد الخسائر التي الحقتها الغواصات .

وانتقل البحث العملياتي ، في أواخر 1942 ، من بريطانيا إلى الولايات المتحدة ، وإلى القوات الجوية أولاً ، ثمّ إلى البحرية ، بالتعاون مع جامعة برنستون ثم إلى المؤسسة التكنولوجية في ماساشوستس (M.I.T) . ونذكر من بين الامثلة ، تطبيق نظرية اللعبات الاستراتيجية ـ المدموجة بشكل دقيق بالبحث العملياتي ـ في معركة الارخبيل في جزر بسمارك في شباط سنة 1943 .

وعرف البحث العملياتي ، في أواخر الحرب ، نقلة حقة : فقد انتقل إلى الصناعة وإلى كل المجالات الاخرى من النشاط الاقتصادي ، والحكومي أيضاً ، ثم اخذ يحتل مكانه ـ متميزاً ـ إلى جانب التنظيم العلمي للعمل . والحقيقة اننا نجد باكورات هذا التحول منذ القرن التاسع عشر ،

وخاصة في المشاريع المتنوعة المخططة في القرن العشرين .

ومن جهة اخرى ، وبذات الوقت الذي قدّمت فيه مفاهيم جديدة في الاعـلام ، انتهت نظرية فيشـر ووالد ـ كـل بحسب طريقتهـا ـ إلى « نظريـة القرار » التي يشكّـل « بحثها العمليـاتي » ، في الكثير من الاوجه ، المظهر العملي التطبيقي.. فمنذ 1920 ، اوصلت البحوث سير رونـالد فيشـر ، في مجال الزراعـة ، الى تخيل « خـطط التجارب » التي اتـاحت ، بواسـطة المربعـات « اليونـانية الـلاتينية » (وهي مصفـوفات يحتـل كلَّ مـربع منهـا حرفـان مستقلان) دراسـة انـظمـة معقـدة من المتغيرات المتعددة ، المتتالية ، والمؤثرة احداها في الاخرى .

وشكلت البـرمجة الـرياضيـة ، بدون شـك ، القسم الـرئيسي من البحث العمليـاتي ، كمـا شكلت البرمجة الخطية الفصل الاول منها . وتـطلق هذه التسميـة على تقنيات في الحسـاب يمكن فيها وضع مسـائل محـددة بشكل نـظام من عدد كبيـر من « اللامعـادلات » (Inéquations) الخطيـة ذات المتغيـرات (n) (أو المجهولات) . تلك هي حـالة مسـائل النقليـات والتوزيـع (ت . س . كـوبمانـزوف . ل . هيتشوك 1941) والحـاق الموظفين بـاعمالهم (د . ف . فـوتـاو وآ . اوردن) والبحث عن التوازن بين الانتاج والتخزين ، الخ .

واشهر طرق حـل مسـائل البرمجـة الخطيـة « طريقـة سامبلكس » تـربط دراسة الـلامعادلات بالبحث عن ذروة فوق متعدد وجـوه مـحـدودب ،يمثـل مجمل الحلول المحتملة . وهـذه الطريقـة يعود الفضل فيها إلى دانتزيغ (1951) G. B. Dantzig الذي بين ايضاً ان نظرية الالعاب الاستراتيجية يمكن ان ترد عموماً إلى البرمجـة الخطيـة . ولكن هناك طرقاً اخرى قـد ابتكرت : ومنهـا نظريـة « اللعبـة الوهـميـة » (براون G. W. Brown) ونـظرية الاسـترخاء (هنـدرسون Henderson وكـوبـر Cooper وتشـارنز Charnes ونـظرية ج . و . بـراون وج . فون نيـومـان التي تستخـدم انـظمـة من المعادلات التفاضلية ، الخ .

وادت دراسـة قام بهـا أ . ك . ارلانغ (1908) ، بعـد ذلك بثلث قـرن إلى « نـظريـة صفـوف الانتظار » ذات التطبيقـات المتعدّدة : هبـوط الطائـرات ، مواقف الـسيـارات ، مهل الانـتـظار على الهاتف ، عطل الآلات ، الخ .

وكانت هذه النظرية موضوع العديد من الاعمـال (د . ج . كندال ؛ الـخ) التي انطلقت من معـادلات ومن منحنيات پـواسـون Poisson ، واستخـدمت في اغلب الاحيان ، تحت اسم « طـرق مونت كارلو » تقنيات تقوم على تقليد مصادفة من ذات الطبيعة التي تعرض في المشكلة .

ان كثـرة المتغيرات التي تميـز غالبيـة المسـائـل المتعلقة بـالبحث العملياتي ، تفسر كون هذا المجـال يحتاج دائمـاً إلى الاحصاء ، وإلى حسـاب الاحتمالات ، وإلى الآلات الحـاسبة الكبـرى العصرية . ولكنه يجب ان يستند أيضاً على انظمة من البحوث فيهـا لا تتأتى الصعـوبة ، بـالضرورة من كثـرة المعطيـات ، ولكنها أي الصعـوبة ، مـلازمة لبنيـة المشاكـل . من هنا عـلاقته بنـظريات الاعلام ، وبالالعاب الاستراتيجية وبالرسوم البيانية Graphes ، الخ . إنّ تضافر المجالات العلميـة

المختلفة بهذا الشكل اتاح ، في اغلب الأحيان ،صياغة دقيقة عقلانية لالهامات كانت في الماضي من امتياز رجال الدولة وبعض اصحاب المشاريع .

وبذات الوقت الذي فرض نفسه في مجالات النشاطات الاكثر تنوعاً ، بفضل نموه السريع ، عمل البحث العملياتي [اي تحليل القضايا بالمنهج الحسابي] على خلق اتحادات وطنية (بريطانيا ، الخ) ودولية ، وعلى نشر عدة الاف من المقالات ، ومن الكتب .

نذكر أيضاً « العاب المشاريع » التي تتيح ـ عن طريق اعطاء اصحاب المشاريع ، ملفات وهمية ، وبعد تسجيل قراراتهم ـ حساب النتائج ، الحاصلة من جراء هذا القرارات ، بواسطة آلات ، مع الاخذ في الاعتبار المخاطر المحتملة عادة . لقد حُققت أولى العاب المشاريع من قبل « الجمعية الاميركية لادارة الاعمال » ومن قبل شركة ماكنزي Mac Kinsey في سنة 1956 . ان مثل هذه التمارين لم تكن تستهدف الا غاية تربوية وتثقيفية ، ولكن يمكن الامل برؤيتها تستعمل بشكل فعال في تشغيل المشاريع .

الاستقراء [انتقال من الجزئي إلى الكلي] الاوتوماتيكي . تعلم الذكاء ـ تهدف اتمتة التفكير الثاقب إلى الاستيلاء على مجالات الاستقراء والتعلم .

وامتداداً لاعمال غري ولتر (1951) حول الانعكاسات المشروطة المصطنعة ، قدم د . آ . م . أوتلي نظرية آلات الاستقراء التي اتخذت كنقطة انطلاق ، واحياناً كنموذج ، لعدة مشاريع ولبعض انجازات د . اوتلي (1954-1955) وف . هـ . جورج وج . باسك وستافورد بير ، وكلهم بريطانيون ، الخ . ان آلة ت . كيلبرن ور . ل . غريمسدال وف . هـ . سمر (1957-1959) حسنت بعد عدد من التجارب والبرامج التي اعطيت لها وذلك باستبعاد الاجراءات الناقصة ، والاحتفاظ بالاجراءات الناجحة ، مع زيادة فعاليتها استناداً إلى حلول حصلت في مسائل اكثر بساطة . مثاله ، إذا اعطيت الارقام الاولى من سلسلة (ذات قانون تشكل اختير سهلاً) فانها تعثر على الرقم التالي .

ان آلة لعب لعبة الداما التي وضعها سامويل Samuel هي آلة تعليم ، وهي لا تعود اطلاقاً إلى نفس الغلطة . وهناك اجهزة اخرى متنوعة ومشابهة قادرة على تذكر مطلق تكييف حاصل . وقد بنى اوتنجر OEtinger ايضاً « آلة تعلم نفسها » . وعلى محاذاة هذه البحوث نذكر نظرية المناهج التي يسميها د . ج . سوفان D. J. Sauvan المتعددة الثبات Multistatique والتي نموذجاها S4 و S5 هما جهازان يُعيدان تنظيم ذاتهما داخلياً عند تلقي الرسائل الخارجية . ولهما « سلوك نشاطي تعاقبي (Epigénétique) شبه مبرمج » يذكر بأواليات الغريزة ، وبنمو النطفة .

هل بالإمكان التحسين ومن ثمَّ تحقيق ما اتفق على تسميته ، بالفكر الخلاق ؟ على صعيد الافكار ، اقترح ماك كاي مشاريع آلات قادرة على تشكيل مفاهيم جديدة ، ثم ، بصورة خاصة فرضيات غير مبتذلة . ومن جهة أخرى ، وفي سنة 1950 ، بيّن بوكنر أنّ الآلية المؤازرة Servo-Mécanisme تمثل دائماً ولا يمكن ان تمثل الا معادلة (أو نظاماً من المعادلات) لـ يفاف

Pfaff (بيّن توريس كيفيدو عكس هـذه القاعـدة في مطلع القـرن العشرين) . هـذه الألغورتيمـات ليست بذاتها الا جزءاً صغيرا من مذخر الرياضيات ، وينتج عن هذا كون الاليات المؤازرة لا يمكنها الادعاء بتمثيل كل عمليات الفكر ولكن ربما كـان من الممكن التقدم بـالمسألـة من خلال معـدات اخرى .

وانه بدون شك ، بواسطة « مضخمات الـذكاء » التي صممهـا أشبي (1956) بدت السيبـرنية [علم التوجيه] الاكثر طموحاً ، ولكن ايضاً الاكثر جرأة .

فبحسب واضعي هذه المضخمات ، ان المسألة الاساسية في تـركيب الذكـاء لا تقوم على خلق افكار جديدة بل في معرفة حسن الاختيار بين عدد كبير من الافكار المطلقة . والآلات القـادرة على مثل هذا الاختيار تستطيع إذاً ـ ان وجدت ـ ان تتجاوز لا القوى فقط بل وحتى القدرات العقلية لدى مصمميها . وبتقبل هذا الطرح ، لا نرى تماماً كيف يمكن اجراء اختيارٍ ما بفعاليـة وبسرعـة ، بين مجموعة من المعلومـات تبدو مشـابهةً لمجمـوعة نصـوص البارابـول الشهير المسمّى « القـرود الطابعة » .

هـذه المشاريع الجريئـة ولكن غير المؤكـدة هي من نصيب مستقبل العلوم اكثـر مما هي من تاريخها ونفضل ان ننهي هذا العرض بذكر انجازات اكثر تواضعاً بكثير ولكنها فعلية . انها انجازات آلات تبين قواعد الرياضيات . انها تمثل خليطاً من النماذج الاستنتاجية والاستقرائية ،ونظريـات هذه الآلات قد طورهـا بشكل رئيسي كـل من نيول Newell ، وشـو Shaw وسيمون Simon ، وهاو وانغ (1958) وب . س . غيلمور (1959) وهـ . جلرنتر وهانسن مع لوفلاند ، وارمر وم . كـرتون (1960) ومينسكي (1961) وج . بيترا (1962) .

ان آلـة هـ . جلرنتر (I. B. M. New York) تعثـر على قواعـد في الجيومتـريا الاقليـدية وهي مؤلفة من حاسبة قادرة على التراكيب الكلامية المنطقية [Syntactique] (لمعالجـة النظام الشكلي) ومن حاسبة دياغرامية [الديـاغرام : رسم تخـطيطي أو بيـاني] (تتضمن الرسم البيـاني الضروري لتبيين القاعدة) ثم من حاسبة كشفية [تساعـد على الكشف] تستخدم الكتلتين السـابقتين وتبحث عن سلسلة البراهين الاستدلالية التي تتيح الانتقال من الفرضيـات (أو المعطيـات) إلى الخلاصـة (أو النتيجة) . هذا وقد برمجت الآلة المسماة « المنـظر المنطقي » «Theorist» من قبـل آ . نيول وج . س . س . شـو وهـ . آ . سيمون بحيث تحصـل على قواعـد انطلاقـاً من نظام البـديهيـات (axiomatique) الذي وضعه برتراند راسل Bertrand Russell .

الفصل العاشر

الحياة الرياضية في القرن العشرين

وسائط الاتصال - كما هو الحال في كل العلوم ، ان السمة التي برزت من خلالها الحياة الرياضية الحديثة ، بادىء الأمر ، هي التزايد الضخم في عدد الباحثين وفي عدد النشرات . والمسار الاستثنائي لهذا النمو ، الذي بدا محسوساً بخلال الثلث الأخير من القرن التاسع عشر ، استمر بالاجمال رغم الحربين العظميين والانقلابات الاجتماعية التي تولدت عنهما . في حين أنه بحوالي سنة 1880 ، لم يكن في العالم الا حوالي عشرين صحيفة مخصصة للرياضيات ، يوجد اليوم عدة مئات منها ، وقد أصبح من المستحيل ، الاطّلاع على تيار الحركة الرياضية دون اللجوء إلى مكتبة تتضمن على الأقل الخمسين نشرة دورية الأكثر أهمية . ان تعدد المجلات والتسهيلات المتزايدة في النشر تساعد ، من جهة ، على انتشار الافكار الجديدة ، ولكن ، من جهة أخرى ، على حصر هذا الانتشار ، بسبب الاستحالة المادية لقراءة كل ما ينشر ، ثم لتمييز - بدون مرشد - المستجدات المفيدة عن المقالات المبتذلة نوعاً ما . ولتفادي هذه العقبة ، أوجدت ، في بادىء الأمر ، صحف مكرسة لتحليل (موجزٍ نوعاً ما) النشرات الأخرى ، مثل : «Jaherbuch uber die Fortschrifte der mathematik» التي تأسست سنة 1868 والتي اعيقت بتأخير لعدة سنوات بعد حرب 1914 ، ثم حلت محلها سنة 1932 : Zentralblatt fur mathematik ثم أضيفت إليها سنة 1940 «Mathematical Reviews» الأميركية ثم أخيراً «Referativny Zurnal» الروسية . ولكن رغم التزايد الضخم في عدد صفحاتها السنوية وفي فرقاء المحرّرين ، تجهد هذه المجلات حتى لا تغرق تحت الدفق المتزايد باستمرار في المقالات التي يتوجب عليها تحليلها .

وهناك وسائل أخرى لفصل القمح عن الزؤان وللحفاظ على تواصل فعال بين علماء الرياضيات في الوقت الحاضر لحسن الحظ . فإلى جانب تكاثر الدوريات تكاثرت الكتب الارشادية ، التي تجمع في أغلب الاحيان ضمن سلاسل الدراسات المتعلقة بموضوع واحد (مونوغرافيا) (تكون في بعض الأحيان متخصصة نوعاً ما) ؛ وأقدم هذه المجموعات هي « مجموعة بوريل Borel » الشهيرة في فرنسا (التي تأسست سنة 1898) ، ثم « منشورات كمبريدج الانكليزية » (Cambridge tracts) (حوالي 1910) ثم الـ «Grundlehern der mathematischen

«Ergebnisse der mathematik» و «Wissenshaften» التي بدأت في ألمانيا بعد 1920 بقليل ، وقد استعملت كنماذج لكثير من المجموعات الأخرى ، ليس فقط في نفس البلدان ، بل أيضاً ، وبشكل خاص ، في الاتحاد السوفياتي وفي الولايات المتحدة ، ثم أنه من النادر أن تنتظر نظرية جديدة أكثر من عشر سنوات لكي تصبح موضوع مداخلات تعليمية .

ومن أجل الحاجات الأكثر الحاحاً في البحث ، انتشر العرف الالماني باقامة مؤتمرات تخصص لتحليل حالة مسألة أو لعرض المستجدات الأكثر بروزاً ، بشكل شامل ؛ وكانت المداخلات المعروضة تطبع ، فتطال جمهوراً أوسع وأعرض ؛ وكذلك حال المحاضرات المتخصصة الملقاة في العديد من الجامعات .

وأخيراً ، إلى جانب المؤتمرات الكبرى الدولية ، التي كانت تقام كل أربع سنوات (مع انقطاعين بسبب الحربين العالميتين) ، كثرت الاجتماعات المحصورة ، والجلسات ، واللجان ، ومجموعات العمل ، حيث تلتقي شلة منفتحة نوعاً ما من الاختصاصيين ، تناقش اكتشافاتها الأحدث ، وتتباحث في المسائل المطروحة على بساط البحث .

كل هذا التطور الضخم لم يكن ممكناً ، من الناحية المادية ، الا بتدخل كثيف من الحكومات (وبدرجة أقل ، من قبل رعاة العلم من أصحاب الصناعة الخاصة) لتقديم المنح الدراسية ، ولتمويل الجامعات ومختلف مراكز البحث حيث يجد الرياضيون الوقت من أجل الانصراف إلى أعمالهم ، دون الاضطرار إلى الخضوع لموجب تأمين خدمة شاقة في التعليم لتأمين معيشتهم . وانه بفضل مثل هذه الامدادات (اما المباشرة أو المقدمة للمكتبات الجامعية) أمكن نشر العديد من الصحف التي تكلمنا عنها أعلاه . وحتى الآن ، لم تظهر المخاطر الكامنة من جراء تدخل هؤلاء المتبرعين بأموالهم ، في تنظيم أو توجيه البحث الرياضي نحو أهداف ربح خاصة ، بشكل مضر جداً ، إلا في ظل الأنظمة الفاشستية في المانيا وإيطاليا ؛ وأغلب الرياضيين يحسون بأنهم ما زالوا أحراراً في أعمالهم يوجهونها كما يشاؤون .

يقظة المدارس الوطنية ـ ظلت المدارس الالمانية والفرنسية حتى حرب سنة 1914 ، المحكومة من قبل أعظم ممثليها المشهورين ، هيلبرت Hilbert وهـ . بوانكاريه H. Poincaré ، وهما نابغتان من ذوي الآفاق الواسعة والنادرة ، تمارس في الرياضيات ، تأثيراً طاغياً وغير منازع به . والى جانبها ، قامت في ايطاليا وفي انكلترا ، مراكز بحوث رياضية تضم العديد من المشاركين الناشطين . وقد تألقت ايطاليا بشكل خاص في مدارسها الجيومترية الجبرية (انريكس Enriques كاستلنوفو Castelnuovo وسيفيري Severi) والجيومترية التفاضلية (ليفي سيفيتا Levi - Civita ، وي . ي ليفي E. E. Levi) وفي التحليل التفاضلي حول فولتيرا Volterra ، دون أن يصيبها التخاذل (الذي أخذت تتحرر منه اليوم) الا ابتداء من سنة 1935 تقريباً ؛ في حين أنه بعد وفاة كايلي Cayly وسلفستر Sylvester ، اخذت المدرسة الانكليزية وقد غيرت اتجاهها ، تتجمع ابتداء من سنة 1910 تقريباً حول هاردي Hardey وليتلوود Littlewood لتدخل ولمدة ثلاثين سنة ، ضمن سلسلة خصبة من الاكتشافات حول التحليل الكلاسيكي وتطبيقاته على نظرية الاعداد ، قبل

ان يخلي المكان ، في الوقت الراهن ، لضمة لامعة من الجبريين والطوبولوجيين .

بعد 1918 أخذت فرنسا التي فصدت شبيبتها العلمية حتى الرمق الأخير بالكارثة ، تنكمش على نفسها وظلت كذلك طيلة عشر سنوات ، واذا استثنينا ايلي كارتان Elie Cartan (الذي عمل ، منذ وفاة بوانكاريه في عزلة تامة) ، فان المدرسة الرياضية الفرنسية قد قبعت ضمن الاطار الضيق ، إطار نظرية وظائف (دالآت Fonction) المتغير الحقيقي أو المعقد ، الذي كان تطوره الضخم ، في حوالي سنة 1900 ، من صنعه (مع بيكار Picard وهادامارد Hadamard ، وبوريل Borel وبير Baire ، وليبيغ Lebesgue ثم مونتل Montel ودانجوي Denjoy وجوليا) . والمانيا التي عرفت كيف تحافظ على حياة علمائها ، حافظت على تراثها الشمولي سليماً ، فضلاً عن ذلك ، شاهدت تفتح مدرسة بارزة في الجبر وفي نظرية الاعداد (أ . نوذر E. Noether وسيغل Sigel ، وارتن Artin وكرول Krull ور . براور R. Brauer وهاس Hass وإليهم يضاف الهولندي ب . ل . فان دروادرن Waerden) ، وقد دشنت في الرياضيات المعاصرة الاتجاه البديهي الذي كان قد وجد نواته في أعمال هيلبرت Hilbert وديدكيند Dedekind ؛ وبين 1920 و 1933 أمَّن هؤلاء الرياضيون للجامعات الالمانية ، حيث كان يتزاحم الطلاب من كل البلدان (وبخاصة الشباب الفرنسيون الذين جاؤوا يجددون علاقاتهم بالتراث المنسي عندهم) شهرة واشعاعاً استثنائيين ، سوف يخمدا مع الأسف ، وبعنف في الحقبة الهتلرية . وبعدها توجب انتظار الخمسينات حتى تعيد المدرسة الالمانية تكوينها متأثرة هذه المرة (بفعل تغير تام في الوضع) بالرياضيين الفرنسيين ذوي الميول « البورباكية » [نسبة إلى Bourbaki] .

وعلى كلٍ ، كانت الظاهرة الأكثر بروزاً ، بعد 1918 هي ظهور مدارس وطنية ناشطة ، على المسرح الرياضي ، في بلاد قلّما كانت قد عرفت حتى ذلك الحين الا بعض العلماء المنفردين الذين بلغوا شهرة عالمية . ومنذ ما قبل نهاية الحرب العالمية الأولى ، من الواجب ، في بادىء الأمر ، أن نذكر الاتحاد السوفياتي وبولونيا ، حيث ظهرت فجأة مجموعة من الرياضيين من الطراز الأول : (ألكسندروف Alexandrov ، واوريسوهن Urysohn ، وكولوموغوروف Kolomogorov ، فينوغرادوف Vinogradov وبتروفسكي Petrovski ثم بونترياغين Pontriaguine وغلفاند Guelfand في الاتحاد السوفياتي ؛ وسيربنسكي Sierpinski وكوراتوسكي Kuratowski وباناخ Banach ثم شودر Shauder وايلنبرغ Eilenberg وزيغموند Zygmund ،الخ . . في بولونيا) ؛ وبفضل جهودهم توفرت بشكل خاص أسس الطوبولوجيا والتحليل الوظيفي الحديثة . وفي الاتحاد السوفياتي لم تتوقف الموجة المنطلقة على هذا الشكل ، واستمرت تعطي العدد الكبير من الرياضيين ، حيث كانت الاسماء ذات الشهرة العالمية أقل عدداً مما كان يؤمل ؛ أما بولونيا ، حيث قضي على خمسين بالمائة من الرياضيين من قبل النازيين ، فقد أخذت من جديد تسد الفراغات وتسير إلى الأمام .

وفي الولايات المتحدة ، كان تشكيل تراث رياضي أكثر بطئاً ، وامتد عبر ثلاثة أجيال ، فقد بدأت في حدود سنة 1900 (وخاصة مع أ . هـ . مور E. H. Moore وديكسن (Dickson) واسغود

Osgood ثم بيـــركهـوف G. D. Birkhoff وفيبلن Veblen والكسنـــدر Alexander وم . مـورس M. Morse) ، تتلقى بعد الحرب الأولى ، وخاصة بعد 1933 ، عوناً غير منتظر بفعل الهجرة الجماعيـة للعلمـاء الأوروبيين المطرودين من قبـل الأنظمـة الكلّيانيـة . وهؤلاء هم الذين سـاعدوا بقـوة على ازدهار المدرسة الاميركية الحالية الباهـرة والمتنوعـة ، بعد 1940 (والتي وضعت نفسهـا في المقام الأول في السنوات الأخيرة بفضل اكتشافـاتها المثيـرة في الطوبـولوجيـا الجبريـة وفي الطوبـولوجيـا التفاضلية) .

في اليابان ، وبعد نهاية الحرب العـالمية الثـانية ، حـدثت الظاهـرة المتفجرة التي كـانت قد ظهرت في روسيا سنة 1920 ؛ ولكن المدرسة اليابانية المتألّقة ، كانت كثيرة على نظام جامعي جامد وفقير ، فخسرت لصالح بلدان أخرى (خاصة الولايات المتّحدة) العديد من ألمع ممثليها ؛ وكـان الأمـر كـذلـك مـع الأسف بـالنسبـة إلى الصين التي بـدت ، قبـل الاضـطرابـات الاجتمـاعيـة في الستينات ، مؤهّلة لتطوّر مشابه في قوّته .

هذا الازدهار في المواهب الجديدة لم يقتصر على البلدان الكبـرى . فاسكنـدنافيـا لم تنفك منذ سنة 1900 تقدم بانتـظام احتياطهـا من الريـاضيين العظمـاء . وبرزت أكثر أيضاً حـالة هنغـاريا الصغيرة ، التي اخرجت رياضيين ذوي قيمة ، بعدد لا يتناسب اطلاقاً مع عدد السكـان ، من بينهم بعض القادة في مسـير الفكر الرياضي المعاصـر (خاصـة ف . رايز F. Riesz وج . فـون نيومـان J. Von Neumann) ؛ وكثير من هؤلاء الرياضيين ، هم أيضاً ، قـد انتشروا خـارج بلدٍ لم يجدوا فيـه عملاً يتلاءم مع نبوغهم .

وأخيراً ، من المتوقع أن يشهد النصف الثاني من القرن ترسخ التراث الرياضي في بلاد مثـل الهند وأميركا الجنوبية ، حيـث يبدو التقدم الفكري مرتبطاً بتحسن الأوضاع الاقتصادية .

التيارات الكبرى ـ أول نقطة يجب ذكرها هي الفاصل ، الأكثر بروزاً في القرن العشرين مما كان عليه في الحقب السابقة ، بين الرياضيات البحتة والرياضيات التطبيقية . لقد أصبحت مسـائل الرياضيات البحتة كثيرة العدد وكثيرة التنوع ، وأصبحت تقتضي الكثير من المعلومات المسبقـة قبل تنـاولها ، كمـا أخذت في الـوقت الحاضـر تستوعب كـامل نشـاط الذين يـدرسـونهـا مهمـا كـانـوا « موسوعيين » ، ثم أن الرياضيين الذين يتصدون بـآن واحد لمسـائل « بحتـة » وللتطبيقـات هم قلّة استثنائية ، وج . فون نيومان هو بدون شك الـوحيد الـذي توصـل إلى شهرةٍ عـالمية . لا شـك أن الفيزياء قد استمرت تطرح الكثير من المسـائل الصعبـة ، والمهمة بـالنسبة إلى الـرياضيين ؛ ولكن حتى في المجالات الخاصة ، كما هو الحال في المعادلات ذاتْ المشتقات الجزئية ، لم تعـد هذه المسائل هي الأكثر أهمية اليـوم . فهنا ، كمـا في كل مكـان آخر ، تـراجعت هذه المســائل أمـام القضايا التي ترتبط بقوة بالتطور الذاتي الداخلي لـلافكار الـرياضيـة ، وبالبحث عن « الهيكليـات » الأساسية التي تتحكم بالظاهرات .

واليوم يوجد أيضاً ، خارج نطاق الرياضيين الخلّص (الـذين اخذوا يبتعـدون قليلاً قليـلاً عن الـواقع) ، سلسلة من العلوم على هـامش الريـاضيـات ، حيث يهتم البـاحثـون بتـرجمـة الأفكـار

والتأملات التجريدية التي يقدمهـا زملاؤهم إلى نتـائج تـطبق عملياً . هـذه التطبيقـات قد ازدهـرت بشكل خاص ، منذ أتاحت الآلات الالكترونية التطلع إلى امكانية التوصل إلى الحسابـات العدديـة التي يجعلها طولُها فوق التناول ، وفيما مضى ، أدى التطبيق المتمادي دائماً للمناهج الاحصائيـة ، في مجالات عدة ، ومنذ 1910 تقريباً ، إلى جعلها « تخصصاً » ملتصقاً أيضـاً بحساب الاحتمـالات الذي اكتسب بالمقابل ، ومنذ 1930 تقريبا ، سمة نظرية وتجريدية أكثر بروزا .

وأخيـرا ، تجب الإشارة إلى التـطور غير المتـوقع ، والمـوازي لتطور الـرياضيـات بـالذات، للمنطق الرياضي ، الذي يبدو اليوم وكأنه جزء من الرياضيات التطبيقية . فهـذا المنطق المنبثق عن المجـادلات الكبرى التي حصلت في مـطلع القرن حـول أسس الريـاضيات قـد استعـار ، بحسب الفكرة الأساسية عند هيلبرت ، من الرياضيات أدواتها البحتة كي يدرس بصورة أفضـل آليتها ؛ ولم ينفك هذا المنطق يجتذب العديد من الباحثين ، وبفضل عباقرة من الـدرجة الأولى من أمثـال غودل ونوفيكوف، استطاع أن يجيب (بالنفي في أغلب الأحيان) على الكثير من الأسئلة حول « امكانية » حل مسـائل رياضية وفقاً لطرق معينة ، مسـائل كانت صعوبتها تتحدى التحليل .

وتمت ، في داخـل الريـاضيات بـالذات ، مشـاهدة الصـراع الـدائم بين الاتجـاهـات نحـو التخصص ونحو التركيز . ونظراً للتزايد الضخم في عدد الباحثين ، وفي نتائج وطرق الهجوم ، بدا وكـأن الأول من هذين الاتجـاهين هو الســائر حتمـاً إلى الانتصار ، وذلـك بفعـل الاستحـالـة شبه الفيزيائية ، في السيطرة على حقل بمثل هذا الاتساع ؛ لقد كتب بالقضاء المحتوم على الرياضيات أن تتفتت إلى « غبــار » من المجـالات المستقلة ، يتجــاهـل بعضهــا البعض الأخـر بشكــل من الأشكال .

لقد استطاع الرياضيون الكبار حتى بداية هذا القرن أن يتغلبوا على هذا الميـل المغري نحـو التخصص ، وكـانت أفكـارهم تتفـاعـل فيهم بـاستمـرار ، وبشكــل مثمـر فتتفــاعـل من قسم من الرياضيات إلى قسم آخر . لا شـك أنه كردة فعل ضـد خطر التخصص المقتحم ، كـان لحقبتنا أن تتميز برؤية ولادة الجهود المنهجية المبذولة من أجل التـركيز ، رغبـة في تجميع الـرياضيـات حول بعض المبادىء العامة التي تتيح السيطرة على ما فيها من مظاهر متنوعة .

وإلى المـدرسـة الالمـانيـة ، وإلى هيلبـرت (Hilbert) بشكـل خـاص ، يعـود الفضــل في الخطوات الأولى في هذا السبيل . وبعد التأكد من أن نـظرية المجمـوعات ، التي وضعهـا كانتـور Cantor ، مضافة إلى التحسيب التـدريجي لمختلف فروع الـرياضيـات في القرن التـاسع عشـر ، تقدم لكل الرياضيات ركيزة واحدة ، قدم هيلبرت وديدكيند Dedekind ، منذ السنـوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ، الأمثلة الأولى عن النـظريات البـديهية المجـردة ، المطوّرة عمـداً من أجل أن تشمل عدة نظريات قائمة ، لا تبدو فيها الا كحالات خاصة ، وتكون بالتالي « مفسَّـرة » على صعيد عـال . ان هذا الجهـد المبذول قـد اقترن ، أيضـاً ، بتغير واضـح جداً في الأسلوب ؛ فـالمقـالـة المتواصلة (المنفحة أحياناً بالمطامح الأدبية) التي كان يقدّمها معلّمو القرن التاسع عشر الكبـار قد

استُبْدِلَت بمقاطع جافة مدعمة بقوة بالتعاريف والبديهيات والأحكام ، الضرورية من أجل وضوح المسار المنطقي .

وابتداءً من سنة 1910 ، اكتسبت هذه الحركة ، مع شتينيتز Steinitz وهوسدروف Hausdorf في المانيا ، ثم مع المدرسة البولونية والمدرسة الالمانية ، بعد الحرب ، قوة متزايدة باستمرار ، أخذت تسيطر قليلاً قليلاً على الفكر الرياضي الحديث . وتبلورت في عديد من المؤلفات ، كان أكثرها طموحاً كتاب « عناصر الرياضيات » الذي وضعه ن . بورباكي Bourbaki ، وكان قد حرّره منذ سنة 1935 جمهور من الرياضيين (في معظمهم من الفرنسيين ، يعودون ، خاصة في البداية ، إلى الجيل الذي عمل من أجل اعطاء المدرسة الفرنسية رسالتها التقليدية « الشمولية » التي كانت قد فقدتها بعد سنة 1920) . هذا الكتاب الموسّع (الذي كان قد صدر منه ثمانية وعشرون جزءاً) يعود بالرياضيات إلى بداياتها ، دون أن يفترض ، عند القارىء ، وجود أية معلومات مسبقة ؛ فهو يجمّع مختلف أقسام الرياضيات ، لا وفقاً للتقسيمات التقليدية ، المرتكزة على مظهرها السطحي ، بل وفقاً لترابطها العميق ، المستخرج في ضوء بنيتها البديهية . وإذا كان الكتاب الجماعي الأوّل من نوعه دون شك ، قد بدا ثورياً بالنسبة إلى مناهج التعليم التمهيدي الأولي (الذي بقي متخلفاً جداً بالنسبة إلى تقدم العلم) ، فهو لم يَعْدُ أن يكون قد قَنَّنَ في الواقع أفكاراً وتياراتٍ مشتركة وشائعة بين كل الرياضيين الناشطين في الوقت الحاضر ؛ ان هذه الأفكار هي التي كانت تقودهم في بحوثهم إلى نجاح لا يمكن انكاره ، ويستدل عليه بالمسائل القديمة التي كانت تبدو كحاجز منيع ، منذ ثلاثين سنة ، والتي أخذت تسقط ، في هذه السنوات الأخيرة ، الواحدة تلو الأخرى ، كقصر من ورق تحت ضربات ممثّلي الرياضيات الحديثة من الشبان اللامعين .

القسم الثاني

العلوم الفيزيائية

الفصل الأول

الفيزياء الذرية
والكائنية المعاصرة

حالة الفيزياء حوالي سنة 1900 ـ شكل القرن التاسع عشر الحقبة المنتصرة لما نسميه اليوم « بالفيزياء الكلاسيكية » أي الفيزياء التي تعالج الظاهرات القابلة للرصد والمراقبة في سلمنا مباشرة . لقد ورث القرن التاسع عشر في هذه المجالات مكاسب القرون السابقة ، وشاهد الاستقرار النهائي ، على قواعد أصبحت لا تتزعزع ، للميكانيك النظري والتطبيقي المتعلق بالأجسام ، وعلى مستوى كبير ، في الهيدروديناميك [علم تحرك السوائل] ، والسمعيات والبصريات الجيومترية . . . وشاهد سرعة ولادة ونمو علم البصريات الفيزيائية المحكوم بالنظرية التموجية التي قال بها فرنل Fresnel ، ونظرية انتشار الحرارة التي قال بها فوريه Fourier ، وعلم الكهرباء الذي ـ من كولومب Coulomb وغالفاني Galvani إلى أمبير Ampère وحتى فراداي Faraday ـ ما انفك يتقدم بخطوات العمالقة حتى ينتهي إلى التركيب الفخم الذي وضعه مكسويل Maxwell : وشاهد أيضاً الترموديناميك [الحرارة في حالة الحركة] ، بفضل أعمال أمثال سادي وكارنو (Sadi و Carnot) ، وماير Mayer وجول Joule وكلوزيوس Clausius . . . يصبح علماً مستقلاً ومسيطراً يستطيع أن يقدم لكل فروع الفيزياء الأخرى ، أشكالاً من التحليل العقلي ومن المفاهيم العامة التي من شأنها أن تجد في كل مكان حقولاً تطبيقية ضخمة .

ومع ذلك ، ورغم كل هذه النجاحات السريعة والبراقة ، كانت فيزياء آخر القرن التاسع عشر تعاني من بعض الأمراض الخفية . إنّ نهضتها كانت الامتداد الطبيعي لنهضة الميكانيك في القرنين السابع عشر والثامن عشر : ولكن في حين كان الميكانيك يرتكز بشكل واضح نوعاً ما ، في شكله ، على اعتبارٍ وتقديرٍ « للنقاط المادية » التي ترمز إلى بنية غير مستمرة للمادة ، أخذت الفيزياء الحديثة (والميكانيك بذاته عندما أخذ الاشكال الملائمة لتمثيل الأماكن المستمرة في الهيدروديناميك وفي نظرية التمدد أو المطاطية) ، بصورة تدريجية ، وبصورة متزايدة الاتساع ، تستعمل صوراً وبياناتٍ مستمرةٍ تتيح استعمال معادلاتٍ ذات مشتقات جُزئية . ان علم البصريات عند فرنل Fresnel ، والكهرمغناطيسية عند مكسويل Maxwell ، والترموديناميك التجريدي المؤسس على مبادىء حفظ الطاقة وعلى تزايد القصور ، كل هذه العلوم كانت تتناسى تماماً كل

بنية متقطعة للمادة وللطاقة وتبدو وكأنها ألغت من الفيزياء النظرية كل مفهوم حول المتقطع أو غير المستمر . إلّا أن المتقطع لا يقبل إلغاءه من الواقع الفيزيائي وبسهولة كما تهيّأ لبعض المنظّرين : ان النقطة المادية تبقى في أساس القوانين التجريبية في الميكانيك ، والكيميائيون ـ حتى أولئك الذين ، وان لم يوافقوا عليها ، رأوا فيها صورة ملائمة ـ اعترفوا بجدوى النظرية الذرية في المادة ، وقوانين التحليل المائي التي اكتشفها فاراداي Faraday أوحت بوجود بنية منقطعة للكهرباء .

ثم قام بوجه التيار العام الذي حمل الفيزيائيين نحو تمثيلات مستمرة للكون الفيزيائي تيار معاكس : فقام منظرون شجعان يدخلون في الصور المستمرة المقبولة عموماً ، عناصر منقطعة من شأنها أن تكملها وأن تستخرج منها معناها الواقعي الصحيح . وحاول كلوزيوس Clausius ومكسويل Maxwell وخاصة بولتزمان Boltzmann احياء مفهومي الذرة والجزيء في الفيزياء ، واقامة نظريات « حركية » في المادة وان يجدوا فيها تفسيراً لمبادىء تجريدية في الترموديناميك وخاصة لمفهوم القصور الحراري [وهو كمية ، أو مقدار ، يدلّ على وجود اضطراب في مسار الطاقة] . كان هـ . آ . لورنتز Lorentz مقتنعاً بوجود بنية متقطعة للكهرباء ، فاستبدل النظرية الكهرمغناطيسية التي قال بها مكسويل بنظرية أدق تدخل ، تحت الاسم النرعي « الكترونات » شحنات كهربائية متوطنة وجسيمية .

هذه المحاولات التي بدت يومئذ فاسدة قليلاً ، وأحياناً غير مبرهنة بشكل كافٍ ، أثارت معارضة حادة من جانب المدرسة « الطاقوية » ، التي ناهضت بالتالي جهود « الذريين » . وقام مفكرون عظام ذوو ميول تجريدية ، متأثرين إلى حد ما بالفلسفات المثالية أو الوضعية ، أمثال أ . ماش E. Mach وو . اوستولد W. Ostwald وب . دوهم P.Duhem ، يعارضون تضمين النظرية الفيزيائية عناصر متقطعة لا تخضع لأيّ مراقبة مباشرة . وكانت وجهة نظرهم ، المعبر عنها في أغلب الأحيان بشكل جازم ، يشاطرهم فيها معظم الفيزيائيين .

ولكن سبق أن تراكمت بين 1880 و 1900 البراهن التجريبية لصالح وجود بنية متقطعة للمادة وللكهرباء . ان دراسة التفريغ [تفريغ الشحنة الكهربائية] في الغازات وتحليل ظاهرات التحليل المائي قادا إلى الفكرة القائلة باحتواء الغازات والسوائل على ذرات أو على مجموعات من الذرات هي الايونات الحاملة لشحنات كهربائية هي دائماً مضاعفات صحيحة لوحدة أساسية . فضلاً عن ذلك ان دراسات التفريغات [تفريغ شحنات كهربائية] في أنابيب كروكس (Crookes) العاملة على ظهور « الأشعة الكاتودية » ، قد دلت على أن الكهرباء السلبية هي دائماً محمولة بمواسطة جسيمات شديدة الخفة بشكل عجيب ، جرت العادة تدريجياً على تسميتها باسم « الكترونات » . هذه الالكترونات ، نجدها دائماً شبيهة في البث التصويري الكهربائي لبعض المعادن الخاضعة لتشعيع الاضواء ذات الموجة القصيرة بقدرٍ كافٍ ، وفي البث الحراري الايوني (ترموايونيك Thermo-ionique) في الخيوط المحمّاة إلى درجة الاتقاد ، وفيما بعد في اشعاع الأجسام المشعة (Radio actifs) : وقد جرى تتبع مساراتها ، وجرى تحييدها عن مجراها بفعل الحقول الكهربائية أو المغناطيسية ، كما جرى قياس نسبة شحنتها إلى كتلتها (masse) . واستطاع لورنتز Lorentz ، بعد

اسناد بث الاشعاع من خلال المادة إلى حركة الالكترونات داخل الذرّات ، أن يتنبأ بأن الخطوط التي يرسلها مصدر ضوئي تتغير بشكل من الاشكال عندما يوضع المصدر ضمن حقل مغناطيسي . وفي سنة 1896 قدمت تجارب زيمان Zeeman اثباتاً ملحوظاً لهذا التنبوء الجريء .

وتدريجاً ، ورغم مقاومة أنصار الطاقة ، بدا زعم الذريين ـ القائل بأنه ، وراء المظاهر المستمرة للظاهرات المرصودة على مستوانا ، تختفي ، على مستوى أصغر بكثير ، حقيقة عميقة تلعب فيها التقطعات الجسيمية دوراً أساسياً ـ مؤيداً كل يوم بالتجربة . وهكذا أخذت ترتسم بداية منعطف كبير في تاريخ الفيزياء : لقد حدث الانعطاف ، ولكنه ، على أثر الظهور غير المتوقع اطلاقاً للكانتا (الكمّات) (Les quanta) في العلم ، برز بشكل سريع وأسرع مما كان متوقعاً .

انتصار الحركة الذرية وظهور الكنتا (الكمّات) 1900-1912 ـ ابتداء من سنة 1900 ، وفي حين انضم كل الكيميائيين ، وبدون تردد ، إلى الفرضية الذرية ، جمّع الفيزيائيون مجموعة من البراهين التجريبية غير المباشرة حتماً ، إنما المتلاقية بشكل ملحوظ ، لصالح وجود الذرات والجزيئات . في فرنسا ، بقي اسم جان بيرّان Jean Perrin مرتبطاً بهذه المرحلة من تاريخ الفيزياء . رسم لها كتابه المشهود « الذرات » جدولاً بارزاً . وقامت تجارب حاسمة أجريت في هذه الحقبة ، بقصد اثبات « الثابتة » الشهيرة المعروفة باسم « عدد آفوغادرو Avogadro » ، بواسطة طرق متنوعة جداً . وان اعتمدنا الفرضية الذرية ، نصل إلى القول ، كما أثبت ذلك أمبير وآفوغادرو ، سنة 1815 تقريباً ان « الجزيء ـ الغرام » من جسم ما يحتوي دائماً على نفس العدد من الجزيئات . ان هذه الثابتة الأساسية في الحركة الذرية ، « عدد آفوغادرو » ، هي التي كانت موضع العديد من التعاريف فيما بين 1900 و1910 بفضل قياسات نجد عرضها في كتاب جان بيرّان (Perrin) . ان التوافق الملحوظ بين التعاريف الموضوعة وفقاً لطرق مختلفة جداً يقدم في النهاية تأكيداً دامغاً ومطلقاً على وجود الذرات والجزيئات . فهي ، اذ تبين ان عدد آفوغادرو له قيمة ضخمة (تقريباً 6.10^{23}) ، تسمح بحساب كتلة (الثقل النوعي) ذرة الهيدروجين (القريبة من : $1,6.10^{-24}g$) وبالتالي بحساب كتلة كل الذرات وكلّ الجزيئات .

وانتصرت أخيراً على هزء دعاة الطاقة ، فاتخذت النظرية الحركية حول المادة ، وبفضل جهود بولتزمان وجيبس Gibbs ، بشكل خاص ، الشكل الأكثر عمومية في الميكانيك فتوصلت ليس فقط إلى تفسير قوانين الغازات وإلى توضيح المعنى العميق للمبدأ الثاني في الترموديناميك ، بل أيضاً إلى التنبّؤ بظاهرات تستعصي تماماً على تنبؤات الترموديناميك الكلاسيكي ، مثل الحركة البروانية [نسبة إلى براون] التي هي انعكاس ، على مستوانا ، للاضطراب الفوضوي في الجزيئات ، ولتقلبات الطاقة والثقل النوعي ، وكانت هذه التقلبات قد برزت للعيان من خلال ظاهرات التلألؤ الحرج . وقدمت أعمال متنوعة نظرية ، وبصورة رئيسية أعمال اينشتين (Einstein) وسمولوشوسكي Smoluchowski ، النظرية لهذه الظاهرات مرتكزة على الميكانيك الاحصائي ، وهنا أيضاً ، قدمت التجربة ، بعد أن أكدت التوقعات النظرية ، براهين جديدة وقوية جداً ، تأييداً لوجود بنية متقطعة في المادة .

وحوالي سنة 1910 ، كان الذريون إذاً منتصرين ، وسلم الطاقويون الأكثر تعصباً أسلحتهم . ولكن بفعل ردة غريبة كان فوز الذريين أكبر مما كانوا يتوقعون . ليس فقط ، كما اعتقدوا ، ان التقطيعية (اللاتتابعية) قد بدت وكأنها مترسخة في المادة ، بل انها توشك أيضاً أن تدخل في مجال الضوء ، وهو مجال يسود فيه أساساً منذ قرنٍ تقريباً المفهوم التتابعي في التموجات ، والحدث الأكثر عجباً أيضاً ، هو أنّ تتابعية حالات الحركة المرتبطة تماماً بتتابعية اطار الفضاء والزمن ، بدت بحالة الخطر بفعل ظهور « الكانتا » (الكمّات) .

إن أصل نظرية الكانتا قد وجد في البحوث الجارية على يد الفيزيائيين حول مسألة الاشعاع الأسود .

يعرف الاشعاع الأسود بأنه الاشعاع الموجود داخل ساحة ، أو فرن محفوظ بكامله بدرجة حرارة واحدة . واستطاع كيرشهوف (Kirchhoff) ، بعد أن استعمل المفاهيم العامة في الترموديناميك [التحرك الحراري]، ان يبين إنّ هذا الاشعاع يرتبط فقط بدرجة حرارة الساحة، وانه مستقل تماماً عن طبيعة جوانب هذه الساحة وعن الاجسام المادية التي يمكن أن تحتويها . ودائماً بواسطة الترموديناميك ، بيّن ستيفان Stefan وبولتزمان بأن الكمية الكاملة من الطاقة الموجودة في وحدة حجم تزداد بسرعة كلية مع ارتفاع درجة الحرارة (على أساس التضعيف الرباعي لهذه الدرجة) . ولكن القضية الكبرى بقيت وهي العثور على قانون توزيع الاشعاع الأسود ، أي العثور على صيغة تمثل التوزيع الطيفي لطاقة الاشعاع بين مختلف أطوال الموجة الموجودة فيه . وحصل واين Wien وهو يتعمق في التحليل الترموديناميكي ، على صيغة توزيع حيث تتواجد رغم هذا وظيفة عشوائية : ان صيغة واين قدمت هكذا ، حول التوزيع الطيفي للاشعاع الاسود توضيحات مهمة ، انما دون أن تتوصل إلى تعريفه بشكل كامل .

وبعد عمل واين ، لاحظ المنظرون ان الترموديناميك قد أعطى حول هذه النقطة كل ما يمكنه أن يعطيه ، وانه ، من أجل التحديد الكامل للتوزيع الطيفي للاشعاع الاسود ، كان لا بد من إدخال تحليل مبادلات الطاقة بين المادة والاشعاع .

ولكن ، حوالي سنة 1900 ، بدا هذا سهلاً لأن النظريات الحُبَيبيَّة حول الكهرباء ، وخاصة نظرية الكترونات لورنتز Lorentz ، أدت إلى تصوير عمليات بث وامتصاص الاشعاع بواسطة المادة وكأنّها تفاعليات مستمرة متتالية لا يُظَنّ ان قوانينها معروفة . ولكن وكما بيّن ، في بادىء الأمر ، لورد رايلي Rayleigh ، ثم غيره من المنظرين أمثال ج . جينز J. Jeans وهـ . بوانكاريه H. Poincaré ، اذا قبلنا بهذه القوانين ، فاننا نصل بالضرورة ، بالنسبة إلى التوزيع الطيفي لطاقة الاشعاع الاسود إلى قانون محدد تماماً . ان هذا القانون يتّفق مع قوانين الترموديناميك التي وضعها « ستيفان ـ بولتزمان » ومع قوانين واين Wien ، ولكنه يدخل في الأولى معاملاً (Coefficient) لا نهائياً ، وهذا أمر غير مقبول . فضلاً عن ذلك ، في حين درس المنظرون هذه المسألة عن طريق الحساب ، حدد المجرِبُون ، في مختبراتهم الشكل التجريبي العملي للتوزيع الطيفي للاشعاع الاسود ، وبدا هذا الشكل منافياً لقانون رايلي ـ جينز Rayleigh-Jeans .

ووجدت فيزياء تلك الحقبة إذاً أمام فشل كامل في مفاهيمها . عندها اخذ ماكس بلانك M. Planck يدرس هذه المسألة المزعجة .

كان بلانك حتى ذلك الحين ، وبشكل خاص ، متخصصاً في الترموديناميك : لقد أعمل الفكر كثيراً بأسس هذا العلم فعرف كل أركانه وأسراره ، ولدى مواجهته مسألة الاشعاع الأسود ، سعى بالغريزة إلى توضيح كل السمات الترمودنياميكية لهذا الأشعاع ، عن طريق ادخال ، ليس فقط طاقته ، بل وأيضاً قصوره (entropie) . اعتمد [بلانك] المفهوم المستمر في البث والامتصاص المقبول في تلك الحقبة ، فعاد بالتالي إلى قانون رايلي ـ جينز وجاءت مصادفة غريبة تغير اتجاهه (إني استعير هذه المعلومات من الكتاب الثمين المنشور بعد الوفاة للمؤلف ر . دوغاس R. Dougas وعنوانه : النظرية الفيزيائية كما فهمها بولتزمان وامتداداتها العصرية) : طلب بلانك إلى بولتزمان رأيه في أعماله ، فأجابه هذا المعلم الذي كان يعرف جيداً أسس التأويل الاحصائي للترموديناميك ، انه لن يحصل اطلاقاً على نظرية ترضي حول التوازن بين المادة والاشعاع ان لم يدخل التقطع [أي اللاتتابع] في عمليات البث والامتصاص . واقتنع بلانك بأن الفيزيائي الشهير على حق ، فاتجه في هذا المنحى الجديد ، وهكذا توصل ، بعد جهود ترك لنا قصتها المؤثرة ، إلى هذه الصيغة الشهيرة التي سميت « صيغة بلانك » والتي تصور تماماً التوزيع الطيفي للطاقة في الاشعاع الأسود . ولكي يتوصل إليها ، توجب عليه أن يفترض ان الالكترونات في المادة لا يمكنها أن تكون محركة بحركاتٍ كيفما اتفق ، بل فقط ببعض الحركات المميزة الخاصة ، هي الحركات المكمّمة [أي ذات الكمية المحددة] ، وبالتالي الافتراض ان الطاقة المشعة ذات التردّد (ν) تُبثّ دائماً وتُمْتَصُّ بكميات محدّدة تساوي (hν) باعتبار h ثابتة جديدة أساسية في الفيزياء ، هي ثابتة بلانك ، وقيمتها العددية تحدّدت في الحال بالمقارنة مع النتائج التجريبية .

لقد كانت فرضية الكانتا جريئة جداً . فقد بدت وكأنها تقتضي تقطيعاً للحركات الممكنة التي يقوم بها جسيم ما في حقل قوة غريبة تماماً عن مفاهيم الميكانيك الكلاسيكي : وكان هناك شكل من أشكال اللااستمرارية ، غير متوقع على الاطلاق ، ومختلف تماماً ـ على ما يبدو ـ عن الشكل الذي نلتقيه في بنية المادة وفي الكهرباء . فضلاً عن ذلك ، إذا كان البث ، بالكانتا ، للطاقة المشعة ، يمكن أن يتلاءم ، عند الضرورة ، مع الفكرة المقبولة يومئذ والقائلة بأنّ الطاقة ، في الضوء وبصورة أعم في كل الاشعاعات ، توزع بشكل متتال ، فإنّ الامتصاص بالكانتا يؤدي ، على ما يبدو ، إلى وجود بنية جسيمية للطاقة المشعة ، تتناقض تماماً مع النظريات التموجية التي قال بها فرنل ومكسويل . وفي حين كان بلانك يتردد في قبول هذه النتيجة القصوى لأفكاره بالذات ، راح انشتين يقدم لصالحها برهاناً قاطعاً .

في سنة 1905 ، قام ألبرت انشتين Albert Einstein يضع نظرية النسبية فاكتشف التفسير الوحيد الصالح « للاثر الكهربائي الضوئي » (Photoélectrique) الغامض . ويقوم هذا التفسير على افتراض بأنّه في اشعاع ذي تردّد (ν) ، تتركز الطاقة بشكل حبيبات « أو كانتا » من الضوء قيمتها

(hν) تسمى اليوم « فوتـون » ، بشكل ان مـطلق معدن « بـاث للضوء » (Photoémissif) إذا ضـرب بنور وحيد اللون ، يتلقى اجمـالاً دفقاً من الفـوتونـات : وإذا كان الإشعـاع مرتفعـاً نوعـاً ما ، فـإن الالكترون الموجود في المعدن من شأنه أن يمتص طاقة « فوتون » وان يقذف خارج المعـدن بشكل « الكرونات ضوئية » بطاقة حركية تتزايد بنسبـة تزايـد التردّد . ان القـانون الأسـاسي للأثـر الضوئي الكهربائي ، والذي لم يكن بالامكان التعبيـر عنه بواسطة المفاهيم الكـلاسيكية حـول الضوء ، قـد بان هكذا بفضل تحليلٍ بسيطٍ للغاية . وعمق انشتين نتائج وجود حبيبات « كـانتا » الضـوء ، فدَعَم نـظريته حيـن درس بـالعمق توازن الاشعـاع والمادة ضمن مسـاحة ذات تـوازن حراري ، وكـذلـك تقلبـات الطاقـة في الاشعاع . وبعـد أن شعر انشتين بـأننا لا نستـطيع تمـاماً تـرك صورة المـوجات الضوئية (وهي (أي الصورة) ضرورية من أجل تعريف تردّد البث وبـالتالي طـاقة الفـوتون [كميـة حبيبات الضوء] المطابق) رأى بوضـوح ضرورة التـوصل إلى نـظرية تـركيبية لـلاشعاع تنبـىء بـأنٍ واحـدٍ عن مظهـره الجسيمي وعن مظهـره التموّجي ، ثم أعلن عن بعض الشـروط الضروريـة لهذا التركيب .

وهكذا تجاوزت نظرية « الكانتا » الفرضية الـذرية واكملتهـا بمعنى من المعاني في حيـن بيَّن نجاحها أن اللااستمرارية لا توجد فقط في بنية المادة ، بل تـوجد أيضـاً ، بشكل يصعب تفسيـره ، في بنيـة الضوء وفي كـل الاشعاعـات . حتّى إنها تبـدو ، وبشكل غيـر متوقـع ، وكأنهـا تمتـد إلى الحركات بالذات . وهكذا جرّت هذه النظرية الغريبة ـ نظرية الكانتا ،التي أخذت تتزايد نجـاحاتهـا كل يوم ، خـاصة في تفسيـر بعض الظاهـرات التي ظلت حتى ذلك الـوقت بدون تفسيـر في مجال الحرارات الذاتية ـ « اللدريين » إلى أبعد من النقطة التي ربما كانوا يتمنون هم أن يقفوا عندها .

نظرية بـوهر (Bohr)وامتـداداتها (1913-1923) ـ سنـة 1913 عرفت نـظرية « الكـانتا » نجـاحاً كبيراً : وقد فتحت أمامنا باب العالم الذري واسعاً . وقام عالم فيزيائي شـاب هو نيلس بـوهر Niels Bohr ، وكـان يومئـذ يقـوم بـالتمـرن في مختبـر يـديـره أرنست زوذرفـورد Ernest Rutherford في كمبريدج ، بدراسة جيدة لنموذج الذرة ، باعتبـاره شبيهاً لنـظام شمسي مُصغَّر ، اقتـرحه الفيـزيائي الانكليزي الشهير مترجماً بدقّة نتائج تجاريه الشهيرة حول الانحـراف الذي يصيب الأشعّـة الفا (α) عندما تجتاز المادة : وقد أعجب بوهر بأنـاقة هـذا النظام ، ولكن أقـرَّ أيضاً بصعـوباتـه . كان يعلم بشكل خاص ، انه إذا اعتمدنا الأفكار الكلاسيكية حول صدور الإشعاعات ، فإن الذرة كمـا يراهـا روذرفورد لا يمكنها أن تبث طيفاً من الخيوط ذات الترددات المعيّنة ، وتكون كذلـك غير مستقـرة ، إذ تأتي الالكترونات الجوانبية بسرعة لتقع على النواة ، وأدرك بوهر انه للحصول ، انطلاقـاً من هذا النموذج الذري ، على نتائج مقبولة ومطابقة للوقائع ، فانه يتعين أن نطبق عليه الافكـار التي جاءت بها نظرية « الكانتـا » . واستلهم ، بصورة مبـاشرة ، مفـاهيم بلانـك وانشتين ، فاقتـرح البديهيتين التاليتين :

1 ـ من بين الحركات التي عرفها الميكانيـك القديم كممكنة ، بالنسبة إلى الالكتـرونات البينـذرية في نموذج روذرفورد ، وحدها تكون مستقرة ومتحققـة في الطبيعـة بعض الحركـات التي تتوفـر

فيها بعض شروط التكميم (quantification) حيث تتدخل ثابتة پلانك بحيث لا تستطيع الذرة أن تتواجد إلا في عدد من الحالات « الثبوتية » المكممة .

2 ـ من شأن الذرة أن تمر « بانتقال » مفاجىء من حالةٍ مكممة الطاقة E_i ، إلى حالة أخرى مكممة الطاقة $E_i>E_k$ (أو العكس) ، وهذا الانتقال يقترن ببث (أو بامتصاص) « كمية من الضوء » (كانتوم) (مقدراها فوتون) تساوي($h\nu$) بحيث ان حفظ الطاقة يفرض المعادلة $h\nu=E_i-E_k$ المعروفة تحت اسم « قانون تردّدات بوهر » .

وعلى أساس هاتين البديهيتين المسلّمتين الأساسيتين ، بنى نيلس بوهر نظرية كمية « كانتية » للذرة من نمط جديد تماماً ، أوضحت في الحال عدداً كبيراً من وقائع كانت حتى ذلك الحين غامضة ، كما أحدثت تأثيراً رئيسياً على توجهات الفيزياء المعاصرة .

ولا نجد المجال هنا لاعطاء لمحة عن نجاحات هذه النظرية الشهيرة التي وضعها بوهر . نكتفي فقط بالاشارة إلى أنها أتاحت منشأ القوانين التي أعطت تردّد الخيوط الطيفية ، التي تبثّها الذرات ، وهي قوانين مستخرجة من التجربة ، وقد ظلّ تأويلها حتى ذلك الحين مستحيلاً ، كما أتاحت رؤية الطبيعة الحقة ، الكمية في جوهرها ، لظاهرات إثارة وتأيين الذرات والجزيئات بواسطة الصدمات . ويجب أن نذكر ان بوهر Bohr استطاع أن يفسّر بشكل ملحوظ الفرق الصغير جداً بين القيم التي يجب اسنادها للثابتة المسماة « ثابتة رايدبرغ » ضمن طيف الهيدروجين وطيف الهليوم .

في سنة 1913 ، قدم بوهر نظريته بشكل مبسط يُبرز بقوة مداها المفهومي الضخم ، ولكنه يقلل من وضوحها ومن قوتها التفسيرية . وفي السنوات التي تلت ، وسعت أعمال أخرى ، خاصة أعمال سومرفلد Sommerfeld سنة 1916 ، ووضحت الشكل البدائي لتحليلات بوهر . طبق سومرفلد ومتابعوه على القسم الديناميكي من المسألة تصحيحات النسبية ، موسّعين صيغة شروط التكميم ، ووضعوا نظرية خطوط طيفية أكثر تفصيلاً من نظرية بوهر ، من شأنها توضيح قسم من بنياتها الدقيقة ، مطوّرين بنجاح نظريات مفعول زيمان Zeeman ومفعول ستارك Stark (تفكيك الخطوط الطيفية المرسلة من قبل مصدر ضوئي عندما يخضع هذا المصدر لحقل مغناطيسي أو لحقل كهربائي) .

وهكذا تكوّن تدريجياً ، على أساس مفاهيم پلانك Planck ، ما سميّ « نظرية الكانتا القديمة » ، وهي عقيدة لقيطة قليلاً تضيق ، مع احتفاظها بالنسبة إلى حركة الوحدات الجسيمية بقوانين الديناميك القديم النقطية (ponctuelles) ، عدد الحركات ممكنة التحقيق فيزيائياً ، وذلك باشتراطها فيها توفر بعض الشروط التكميمية حيث تظهر الثابتة (h) . وكما هو ظاهر فإنّ هذه النظرية تعاني من بعض التناقضات الداخلية ، وقد تبين بسرعة ، رغم نجاحاتها ، ورغم قدرتها التفسيرية الضخمة ، أنها لا توصل دائماً إلى نبوءات موفقة . ومع ذلك ، وبفضل الهام عميق عرف ن . بوهر N. Bohr كيف يرفع ، وبشكل ضخم ، مداها حين أعلن عن « مبدأ التطابق » (Principe de Correspondance) ، الذي سوف نقف عنده لحظة .

قدمت نظرية الكهرمغناطيسية الكلاسيكية التي قال بها مكسويل ولورنتز (Maxwell-Lorentz) صورة عن عملية بث الاشعاعات من قبل المادة التي يجب أن تتيح امكانية حساب التوتر بدقة، وحساب الاتساع والاستقطاب أو التكثف في الاشعاع الصادر. وللأسف ان الطبيعة المتقطعة لعمليات البث والامتصاص التي كشفت عنها أعمال بلانك Planck، والبنية المتقطعة للاشعاع بالذات، الناتج عن ادخال مفهوم الفوتون، لم يسمحا أبداً بالوثوق بنظرية مكسويل ـ لورنتز للحصول على وصف كامل للحقيقة الفيزيائية. ان نظرية الكانتا القديمة كانت تتوافق، بالعكس، مع صورة الانقطاعات، ثم بواسطة انتقالات بوهر وقانونه حول التواترات، كانت تؤدي إلى تنبّوءات ممتازة في الغالب بالنسبة إلى تردّدات الخطوط الطيفية. ولكنها [نظرية الكانتا القديمة] لما كانت قد تخلت عن وجهة النظر التأرجحية في النظرية الكلاسيكية، فإنها لم تتوصل إلى التنبّوء ـ ولا حتى إلى التعريف الواضح ـ بزخم وبكثافة اشعاع ما، وبدت عاجزة عن تقديم تأويل لظاهرات التشتت والانتشار، التي يتدخل فيها المفهوم التأرجحي لفارق المرحلة تدخلاً أساسياً.

ومن أجل البحث في تلافي هذا النقص أعلن بوهر، سنة 1916، مبدأه في التطابق. وكانت الفكرة التي وجّهت سعيه بدت قابلة للصياغة على هذا الشكل: بما ان نظرية ماكسويل ـ لورنتز Maxwell-Lorentz تقدم تأويلاً جيداً للظاهرات الكهرمغناطيسية، على مستوانا، فمن الضروري الافتراض بأنها تشكل صورة احصائية صحيحة لمجموعات العمليات الأولية التي يدخل فيها عدد كبير من الكانتا. وبتقبّل هذه المسلمة الواقعية، وباستكمالها، بنوع من الجرأة، في مجال الاعداد الصغيرة من اعداد الكانتا، استنتج بوهر Bohr منها ـ عبر صيغ وان لم تكن واضحة تماماً، إلا أنها كانت واضحة بما فيه الكفاية لتكون ممكنة الاستخدام ـ طريقة تقريبية للتنبوء بالزخم وبالكثافة في الخطوط الطيفية. وبالاستعمال الناجح، خاصة في نظريات مفعول ستارك Stark، ومفعول زيمان Zeeman، قدمت هذه الطريقة، مهما كان نقصها يومئذ، خطاً ثميناً متوجهاً وهادياً من أجل وضع النظريات الكانتية، ومن أجل دراسة الانتقال من الظاهرات المتقطعة، في الميكروفيزياء، إلى الظاهرات ذات المظهر المتتابع في المستوى الماكروسكوبي (العياني، ما يرى بالعين المجرّدة) وخصبها ما يزال واعداً حتى في أيامنا هذه.

ويجب أن نذكر، منذ الآن، ان نظرية بوهر وامتداداتها أدخلت إلى الفيزياء النظرية صوراً جديدة بدا تفسيرها صعباً. ان الذرة، وبوجه أعم، الأنظمة الميكروفيزيائية التكميمية، بدت وكأنها موجودة، بشكل شبه دائم، في حالات جمود لا يتطور عبر الزمن، والانتقال من حالة جمود إلى حالة أخرى يمكن أن يحصل فجأة عبر انتقال كانتي [كمي] لم يقدّم عنه أي وصف. ان الحالات التوقفية ـ بحكم عدم تطورها ـ كانت تمنع أي شيء من التفهيم عن سبب حدوث الانتقال الكانتي في لحظة دون لحظة أخرى. وانسجاماً مع مذكرة مهمة وضعها انشتين ـ الذي بيّن، في سنة 1917، الرابط القائم بين قانون التواترات الذي قال به بوهر Bohr وبين معادلة بلانك Planck حول الاشعاع الأسود ـ تم التوصل بالتالي إلى تحديد احتمالات الانتقال ضمن وحدة زمنية. تجاه هذا الوضع، كان هناك موقفان ممكنان. فبالامكان، انسجاماً مع الأفكار الكلاسيكية في الفيزياء، القول ان انعدام تطور الحالات التوقفية، والسمة المفاجئة والمستعصية

على الوصف ، التي تتصف بها الانتقالات الكانتية ، ليسا الا مظاهر ، وان الانتقالات الكانتية هي ، ولا شك ، عمليات سريعة جداً ، إلا أن تطورها يمكن ، يوماً ما ، أن يوصف ، وان الحالات التوقفية ، الأقل جموداً مما هو ظاهر للعيان ، تصيبها تغييرات خفية من شأنها أن تنقلها إلى مراحل لا استقرارية ، وبالتالي استحداث تغييرات وانتقالات : وعبر هذا الاسلوب في الرؤية ، بقي تدخل احتمالات الانتقال موافقاً للتصور التقليدي وبموجبه يكون الاحتمال هو التعبير عن جهلنا لغائية خفية . بالامكان أيضاً اعتماد موقف معارض تماماً والافتراض بأن الحالات التوقفية لا تتطور على الاطلاق ، وهي نوعاً ما خارج الزمن ،في حين إنّ الانتقالات الكانتية هي عمليات آنية مؤقتة تستعصي تماماً على كل وصف بتعابير الفضاء والوقت : ان احتمالات الانتقال تصبح عندها التعبير عن نوع من المصادفة الخالصة ، ذات الامكان الاحتمالي المطلق ، الذي لا ينتج عن جهلنا لغائية خفية ، ونحو هذا الرأي بدا ميل بوهر ، منذ بداية أعماله ، ولصالحه أيضاً استعمل كل ما لسلطته الكبيرة جداً من وزن . ففي نظره ، كانت الحالات التوقفية والانتقالات الكانتية عمليات من نمط مجهول جداً في الفيزياء الكلاسيكية ، عمليات « تتجاوز » وتسمو على اطار الفضاء والزمن وتستعصي على كل تأويل تقليدي . بالتأكيد يمكن القول ان هذا الاسلوب في الرؤية هو بكل بداهة ، وليد المفاهيم الأساسية في نظرية الكانتا ، وانه يفتح آفاقا جديدة جديرة باهتمام الفلاسفة وعلماء المعرفة . ولكن من المؤكد انه يوشك أن يؤدي إلى مسالك خطرة وغير مضمونة . فهو إذ ينقل خط التماس بين الفيزياء والميتافيزياء ، قد حطّ به في مجال يبدو ، مع ذلك ، منتمياً إلى الفيزياء . وهو [أي هذا الأسلوب في الرؤية] يشكل نوعاً من التخلّي عن الهدف الذي التزم به دائماً ، وبنجاح دائم ، البحث العلمي الساعي للوصول إلى التفسير وإلى الفهم ؛ وهو يتضمن الخطر الكبير جداً ، خطر العودة إلى نمط التفسير الكلامي الخالص الذي أعاق تقدم المعارف البشرية ، ونحن سوف نعود فيما بعد إلى هذه المسائل .

الميكانيك التموجي وامتداداته (1923-1939) ـ حوالي سنة 1923 بدت نظرية الكانتا القديمة ، وكأنها قد بلغت أقصى حدود قوتها التفسيرية . كانت نظرية مهجنة استمرت تستعمل مفاهيم وقوانين الميكانيك القديم « الميكانيك النُقَطي » ، مع فرض حدود وقيود « كانتية » عليه ، كانت غريبة عنه تماماً ؛ ومع ذلك فقد أحرزت نجاحات كبيرة جداً ، وقذفت بموجة من الضياء في مجال بقي ، حتّى ذلك الحين ، مظلماً جداً ، في الفيزياء الذرية . ولكن العلماء بدأوا يتبينون في كثير من الحالات ان تنبؤاتها [أي نظرية الكانتا القديمة] لا تنسجم مع الوقائع العملية . وبدأوا يستشعرون وجوب ادخال اصلاح كبير عليها ، مع الاحتفاظ بكل ما دام فيها صحيحاً .

وكانت أولى المحاولات بهذا الشأن ، في مذكرات ظهرت في « محاضر جلسات أكاديمية العلوم » في خريف 1923 ، ثم وُسِّعَت في أطروحة دكتوراه تمت مناقشتها في تشرين الثاني 1924 ، وضعها كاتبُ هذه السطور . وشكلت هذه الاطروحة أساس ما يسمى اليوم بـ « الميكانيك التموجي » . وكان الهدف الأساسي من وراء هذه المحاولة التوصل إلى نظرية تأليفية تركيبية حول الموجات والجسيمات التي يظهر فيها الجسيم كنوع من « العارض الطارىء » المندمج في بنية موجة يوجهه انتشارها . وبدا الوضع القائم سنة 1923 يتطلب جهداً من هذا النوع بدت الحاجة إليه

ظاهرة بوضوح أمام أنشتين ، ومنذ مدة طويلة ، انما في حالـة خاصـة فقط هي حالـة الضوء وحـالة الفوتون . في هذه الحالـة الخاصـة ، بدأت التحقيقـات المتتاليـة حول نـظرية الكـانتا الضـوئية ثم اكتشاف مفعول كونتون (Compton) الحديث يومئذ ، تدلّ على صحة استلهامات انشتين العميقة . ولكن في حالة الجزئيات غير الفوتـون ، وفي حالـة الجسيمات المـادية مثـل الالكترونـات ، هل يتوجب تخيل قيام مثل هذه الثنائية « موجة ـ جسيم » ثم استخلاص النتائج منها ؟ هل يتـوجب ربط الصورة الجسيمية المقبولة عادة بالنسبة إلى الالكترون بصورة موجةٍ ترافقهـا في حركتهـا ؟ ان ههنا لفرضية جريئة للغاية ، لا شيء في تلك اللحظة كان يوحي بصحتها .

إلا أن بعض المؤشرات كانت ترتسم على هذا الطريق منها : ان نـظرية هـاملتون ـ جـاكوبي Hamilton-Jacobi ، التي سبق أن طـوِّرت منذ قـرن في اطار المكيـانيـك التحليلي الكـلاسيكي ، كانت تدل على وجـودٍ قربى خفيـة بين حركـة النقاط المـادية وانتشـار موجـة ما ؛ وتـدخل الاعـداد الصحيحة في معادلات تكميم نظرية الكانتا القديمة ، كان يذكر بأن ظاهرات التداخل أو التجـاوب يجب أن تتدخل في استقراريـة حـركة الالكتـرونات الـذرية الـداخلية ، الـخ . واستلهامـاً من هذه المـلاحظات استـطعت أن اضع الركائـز الأولى للميكـانيك التمـوجي ، ثم الحصول ، بمسـاعـدة التحليلات والبراهين النسبية ، على الروابط والعـلاقات التي تجمـع بين الطاقـة وكمية الحـركة في جسيم ، وبين تواتر وطول الموجة ، في موجةٍ تؤدي الافكار السـائدة في الميكـانيك التمـوجي إلى قَـرنها بهـا . وبتطبيق هـذه المعادلات على الحـالة الخـاصـة في « الفـوتـون » نصـل مبـاشـرة إلى المعـادلات التي توصـل انشتين إلى افتراضهـا في نظريتـه حـول كـانتـا الضـوء . وتتيـح النـظريـة الجديدة ، فضلاً عن ذلك ، تأويل مدلول شروط التكميم في نظرية الكانتا القديمة .

هذه المحاولة الجريئة كان يمكن أن تمـر غير ملحـوظة ، لـو أن انشتين ، منذ كـانون الثـاني 1925 لم يشر إلى أهميتها ، ولو أنه لم يستعملها في تطبيقات عميقة على نظرية الغازات . في ربيع 1926 وفي سلسلة من الأعمال المدهشة ، أقام أروين شرودنجر Schrodinger ، على أسس رياضية صارمة ، « شكلانية » الميكـانيك التمـوّجي لأنظمـة الجسيمات . وبين كيف يجب أن يتم تحـديد الحالات التوقفية للانظمة الذرية ، وعثر بالتـالي ، مع تحسينهـا في أغلب الأحيان ، على تنبّـوءات نظرية الكانتا القديمة ، وأخيراً استطاع أن يبين ان الشكلانية ، التي طُورّتْ سنة 1925 من قبـل ورنر هيـسنبـرغ Werner Heisenberg ، ليست الا نقلاً ريـاضيا لشكـلانية الميكـانيك التمـوّجـي ، الأمر الـذي يفسر تـطابق توقعـاتهما . وبعـد منشورات شـرودنجر ، تمّ انجـاز عدد ضخم من تـطبيقـات الميكانيك التموجي تحت الشكل الذي أعطاه اياه ، وبنجاح كبيـر ، وجاءت هـذه التطبيقـات تثبت أهمية التقدم المحقق . وكان يمكن التمني مع ذلك تقديم برهان تجريبي مباشر على وجود المـوجة المقترنة بالالكترون : وهذا البرهان لم يتأخر طويلاً ، إذ ، منذ بداية 1927 ، قام مهندسان أميركيان همـا ش . ج . داليسون (C. J. Davisson) ول . هـ . جـرمـر (L. H. Germer) بـاكتشـاف ـ دون بحث مقصود ـ ظاهرة شطر أو انكسار الالكترونات بواسطة البلور ، وهي ظاهرة تشبه ظاهرة انكسـار أشعـة ايكس (X) بالبلور ، واستـطاعا بـالتالي التثبت من صحـة تصورات الميكـانيـك التمـوجي ، والصيغ التي عليها يرتكز وكررت هذه التجارب باشكال متنوعـة من قبل عـدد كبير من المجـربين ،

وشملت جـزئيات غيـر الالكترونـات وحتّى النترونـات ، فقـدمت (أي تجـارب الانكسار بـواسطة البلورات) الدليل الأكيد على أن اتحاد الموجات والجسيمات ، ليس مجرد رؤية فكريـة . وجاءت براهين أخرى تنضاف إلى التجارب ، إذ أمكن الحصول على تكسير (شطر) الالكترونات بواسطة طـرف شاشـة ، وعلى تداخـل الموجـات الالكترونيـة بـأسـاليب ممـاثلة لتلك التي تسمى في علم البصريات موشور فرنل Fresnel المزدوج ، أو ثقوب يونغ أو الشفرات الرقيقة .

وخـارج الموجـة المقترنـة ، جاء عنصـر جديـد يضاف إلى معـرفتنا بخصـائص الالكترون ، والجسيمات الأخرى : انه « السبين » («Spin») . ودلت ظاهرات طيفية ومغناطيسية ، وصفت بانها شاذة حيث لم يمكن التوصل إلى تأويلها ، انه لا يكفي تمييز الالكترون بكميتـه «masse» وبشحنته الكهربائية ، وفي سنة 1925 ، توصل ج . ف . اوهلنبـك G. F. Uhlenbeck وس . آ . غودسميت S. A. Goudsmit من أجـل تفسير هـذه الوقـائع إلى اعـطاء الالكترون نـوعاً من الـدوران الـداخلي يترجم بظهور عزم كميـة من الحركـة وعزم مغنـاطيسية « خـاصـين » : هذه الخـاصية الجـديدة التي أعطيت الاسم الانكليزي « سبين » ، ظهرت كأساسية تمـاماً ، وربمـا الأكثر تجـذراً ، بالنسبـة إلى الجسيمات الأولية ، مما يوحي ، بمعنى ما تقرباً من أعاصيـر ديكارت . ورغم استـطاعة اوهلنبـك وغودسميت ، وتلاميذهما أن يبينـوا بسرعـة ان ادخال السبين يتيـح تفسير الشـذوذات المشار إليهـا أعـلاه ، فقد مـرت لحظة وضـع عجيب مفـاده ان السبين ـ المكتشف في اللحـظة التي أخـذ فيهـا الميكانيك التموجي يزدهر ـ بدا وكأنه غريب تماماً عن هذا الميكانيك . وانه في السنة 1929 فقط ، توصل ب . آ . م . ديراك إلى بناء شكلٍ للميكانيك التموجي يتمتع بآن واحد ، باللاّتغير النسبوي ويحتوي السبين . هذه النـظرية المتعلقـة بالكتـرون ديراك ـ التي أتـاحت عدداً كبيـراً من التنبوءات الصحيحة سواء فيما يتعلق بالبنيات الدقيقـة لاطياف الخـطوط ، أو فيما يتعلق بـالشـذوذات الـطيفية والمغناطيسية ـ كانت موضوع العديد من الدراسـات ، وشكلت أحد المفـاتيح المهمـة في الفيزيـاء النظرية المعاصرة .

وبعـد استكمالـه بنظريـة ديراك ، كـان الميكانيـك التموجي مـوضـوع كثيـر من التـطبيقـات المثمرة ، التي لا نستطيع ادراجها كاملة . فقد أتاح لـ ج . غامو G. Gamow أن يقدم صـورة مفيدة للتحطم الاشعاعي ، الذي تستطيع المفاهيم الجـديدة وحـدها تقـديمه . ان الميكـانيك التمـوّجي لأنظمة الجزيئات ـ بالشكل المسمّى شكل شرودنجر ، مقروناً « بمبدأ الاستبعاد » الذي قال به پولي Pauli ، الصـالح بالنسبة إلى فئة كاملة من الجزئيات ، ومنها الالكترونات أدى إلى تمييز نـوعين من الجزئيات الموجودة في المادّة : الجزئيات ذات وظيفة الموجة المضادة للتساوق أو فرميون [عنصر فلزي اشعـاعي النشـاط] ، الخـاضعـة لمبـدأ الاستبعـاد والاحصـاء الـذي وضعـه فـرمي ـ ديـراك (Fermi-Dirac) ، والجزئيات ذات وظائف الموجة التساوقية أو « البوزون » ، غيـر الخاضعـة لمبدأ الاستبعاد وتخضع لاحصاء بوز ـ انشتين .

إن تـوزيع الجـزيئات إلى فئتين ، المـرتبط بقيمة « سبينهـا » [سـبين : الدوامـة ، المغـزل] يلعب دوراً أساسياً في الفيزياء المعاصرة .

إن الميكانيك التموّجـي الموضح هكذا قد مكّن أيضاً و . هيسـنبـرغ من وضـع نظريـة فخمة

حول طيف الهليوم توضح خصوصيات بقيت حتى ذلك الحين غامضة حول هذا الطيف ، وتتيح العثور مباشرة في بنيته على برهان على صحة مبدأ پولي (Pauli) ، وانطلق و . هيتلر W. Heitler وف . لندن F. London ، من نظرية جزيء الهيدروجين ، فاستطاعا اثبات ان الميكانيك التموجي وحده يتيح فهم الطبيعة الحقة لمفهوم القابلية (Valence) الكيميائية والقوى التي تؤمّن الاستقرار في الأبنية الجزيئية . وكان هذا العمل أصل تطوّر فرع جديد في النظرية الفيزيائية ، المسماة اليوم بالكيمياء النظرية أو الكيمياء الكانتية [الكمية] التي ، وهي تدرس بشكل عام العلاقات الكيميائية وتحولاتها ، تقدم كلّ يوم معلومات جديدة حول البنية وحول خصائص الجزيئات ، وبصورة رئيسية الجزيئات العضوية ، وحول الحركية الكيميائية ، الخ . ودونما الحاح على التطبيقات العلمية والتقنية لانشطار الالكترونات في دراسة البنيات المادية ، أضيفُ ان البصريات الالكترونية ، التي نعرف تطورها السريع ، لم تأخذ كامل معناها إلاّ في ضوء الميكانيك التموّجي ، خاصة في المسائل المشابهة لمسألة « الطاقة الفاصلة » : نحن نعرف الأهمية الأساسية التي احتلها الميكروسكوب الالكتروني في مجالات كثيرة من العلم النظري أو التطبيقي ، خاصة في دراسة المعادن مجهرياً « متالوغرافيا » وفي الميكروبيولوجيا .

وبالعودة الآن إلى المسائل المبدئية ، لا بد أن نقول بعض الكلمات عن الوجهة ، التي اتخذها ، منذ حوالي ثلاثين سنة ، تفسير المكانيك التموجي . ان المحاولة التي جرت سنة 1925 ، من قبل ورنر هيسنبرغ ، الذي كان يعمل في كوبنهاغن تحت اشراف نيل بوهر ، كانت متأثرة جداً بمفاهيم مؤلف النظرية الكانتية حول الذرة ، والتي سبق أن أشرنا إليها . وهذه النظرية استلهمت أيضاً الأفكار الوضعية أو الظاهراتية التي أصبحت بصورة تدريجية « المعتقد الأساسي » لمدرسة وينر كريس الفلسفية ، والتي بموجبها يجب على النظرية الفيزيائية أن تدخل فقط مقادير يمكن رصد قيمتها مباشرة ، وأن تتجنب كل تصور تكون بعض عناصره مستعصية على التجربة . ان « الميكانيك الكانتي (الكمي) » ، المحرك بهذه الروحية « روحية كوبنهاغن » التي تذكر في بعض جوانبها بروحية المدرسة الطاقوية القديمة ، ان ميكانيك ورنر هيسنبرغ هذا ـ المسمى أحياناً ، بسبب الشكل الرياضي الذي يتخذه ، « ميكانيك المصفوفات » ـ يبدو مجرد شكلانية ترفض كل صورة للعالم الميكروفيزيائي ، ولكن من شأنه الاعلام عن كل الظاهرات القابلة للرصد على المستوى الذرّي بواسطة الحسابات الجبرية البسيطة . ورغم أن أ . شرودنجر قد استطاع منذ سنة 1926 ان يبين ان شكلانية الميكانيك الكانتي يمكن أن تُعتبر كنقل جبري بسيط للشكلانية التي ينتهي إليها الميكانيك التموجي ، ظلّ هذان الشكلان الجديدان للفيزياء التصغيرية (الميكروفيزياء) تحركهما تيارات متعارضة ، تشبه التيارات التي حركت في الماضي الذريين من جهة والطاقويين من جهة أخرى : وكان الميكانيك التموجي يحاول الحصول على تطور للظاهرات الميكروفيزيائية في اطار الفضاء والزمان ، الذي يقدم صورة واضحة ومفهومة لتداعي الموجات والجسيمات ، في حين اعتبر الميكانيك الكانتي هذه الاهتمامات عبثية ، فأراد أن يكتفي ببناء شكلانية تستطيع تقديم التنبّؤ بالظاهرات القابلة للرصد والتحقق ، بدقة .

ان هذا التيار الأخير للأفكار هو الذي أدى الى التفسير الاحتمالي للفيزياء الكانتية ، التي

طورها بصورة رئيسية ن . بوهر وو . هيسنبرغ وم . بورن M. Born وو . پولي وپ . آ . ديراك (مع دقائق تختلف قليلاً باختلاف المؤلفين ، خاصة فيما خص ن . بوهر) . في هذا التأويل ، لم يعد يوجد في الفيزياء الكانتية ، إلا قوانين الاحتمال ، الاحتمال « الخالص » ، الخالي من أية أوالية غائية كامنة ومجهولة . ان موجة الميكانيك التموجي ليست على الاطلاق حقيقة : إنها ليست الا مجرد حل لمعادلة ذات مشتقات جزئية من معادلة الموجات ذات النمط الكلاسيكي . وهو حلّ يعتبر الأداة الرياضية المناسبة لتصوير احتمالية نتيجة بعض القياسات . ويرتدي الجسيم هو أيضاً مظهراً طيفياً : فلم يعد له لا موضعة دائمة في الفضاء ، ولا قيمة في كل لحظة من لحظات طاقته وكمية حركته ، وهو موجود عموماً في حالة الكمون في كل منطقة ممتدة في الفضاء ، وهو يوزّع إحصائياً بين عدة حالات من الحركة . ويمكن للتجربة ان تسمح تماماً بموضعة الجسيم ، أو اعطاء قيمة لكميته الحركية ، انما دائماً بصورة خاطفة ، وليس اطلاقاً بنفس اللحظة : وهذا ما تعبر عنه بلغة الرياضيات علاقات هيسنبرغ حول اللايقين . ولترجمة المظاهر الجسيمية والتموجية ، المتميزة بوضوح ، في حالة الضوء ، بالمفعول الكهربائي الضوئي من جهة ، وبالتداخلات من جهة أخرى ، وفي حالة الالكترونات بالمسارات المرئية في غرف ولسون ، من جهة ، والانشطار بواسطة البلورات من جهة اخرى ، ادخل ن . بوهر مفهوم « الاستكمالية » : ان الجسيم والموجة هما مظهران متكاملان للواقع ، لواقع يستعصي على كل وصف أكثر وضوحاً .

وهنالك تفسير آخر للميكانيك التموجي أقرب من الايحاءات التي ولدته ، وأكثر ملاصقة بالمفاهيم المعتادة عند الفيزيائيين ، رسمه سنة 1926-1927 مؤلّف هذا الفصل . ولكن هذا التفسير اصطدم يومئذ بصعوبات رياضية خطيرة ، فاسْتُغْنِيَ عنه ، وربما كانت ساعته لم تحن بعد ، ونحن سوف نتكلم عنه فيما بعد .

لماذ أصبح التفسير الاحتمالي ، رغم القليل الذي يقدمه من الارضاء لرغبتنا الغريزية في الفهم ، منذ ثلاثين سنة تقريباً ، مقبولاً لدى شبه كلية الفيزيائيين (إذا وضعت جانباً الاستثناءات المتشكلة من پلانك وانشتين وشرودنجر) ؟ لا شك أن هذا التفسير ينسجم مع الميول الوضعية لبعض منهم ، وأيضاً لأنه يعبر عن نفسه بشكلانية متماسكة جداً تستعين بحسابات رياضية أنيقة (خوارزمية) وخاصة انه يستطيع الاجابة على كل الاسئلة التي يمكن أن يطرحها التنبّؤ بالظاهرات القابلة للرصد ، دون أن يستعين بأية فرضية تحكمية مهما كانت . هذا الميكانيك الكانتي الذي لا يريد ـ كي يتجنب كل صورة ذات ميول واقعية ـ أن يوصف بأنّه ميكانيك تموجي ، قد عرف لحظة بلغ فيها الأوج ، إلا أنه اليوم يعطي دلائل على تراجعه . وهذا ما سوف نتفحصه في القسم الأخير من هذا العرض .

سرّ الجزئيات في الميكروفيزياء ـ حتى سنة 1930 تقريباً ظل عدد الجزئيات التي تظهر على صعيد الميكروفيزياء محدداً نوعاً ما . فالالكترون ، وهو وحدة كهربائية سلبية خفيفة جداً ومتحركة جداً ، والبروتون وهو وحدة كهربائية ايجابية أثقل وأقل حركة والفوتون حبيبة من الطاقة تدخل في بنية كل الاشعاعات وتلعب دوراً يختلف نوعاً ما عن السابقين ، تلك هي العناصر الأساسية التي

تدخل في بنية مختلف أشكال المادة والطاقة ، وخط التماس بين المادة والطاقة قد أزيل نوعاً ما بفضل المبدأ النسبي المتعلق بجمودية الطاقة .

إن تطور الفيزياء النووية المنبثق عن المكتشفات المثيرة والأساسية التي قام بها هنري بيكيريل Becquerel وبيير وماري كوري Curie حول النشاط الاشعاعي الطبيعي (1896 - 1898) ، والممتد بفضل الانجازات الأولى في مجال التنقلات الاصطناعية (روذر فورد ، 1919) ، واكتشاف النظائر (ج . ج . طومسون ، آستون Aston) ، قد جذب انتباه الفيزيائيين حول قلب الذرة المتكون من « نواة » مشحونة ايجابياً ومقر كل كمية البناء الذري تقريباً . وكان المعلوم ان هذه النواة لها بنية معقدة ، وانها كانت ذات استعداد للانشطار أو التفكك أما بصورة عفوية أو تحت صدمات عنيفة خارجية ، ولكن في البداية بدا من الطبيعي الافتراض ان مكونات النواة تتألف من بروتونات (أوليّات) والكترونات ، وهي الجسيمات الوحيدة الأولية المادية التي كانت معروفة في تلك الحقبة .

وابتداء من سنة 1930 تغيرت هذه الوضعية بسرعة بعد التثبت من وجود جزئيات جديدة كانت غير معروفة حتى ذلك الوقت . ان تحقيق « مدفعية » للقذف الجسيمي ، في المختبرات ، والذي من شأنه احداث تنقلات نووية عن طريق الصدمة ، ودراسة الاشعة الكونية الآتية من الفضاء الكواكبي ، يمكنها أيضاً أن تتسبب بمثل هذه الانتقالات التي أتاحت التعرف على وجود النيوترون (أو النترون) وهو جزئيّة حيادية كهربائياً كتلتها تقارب البروتون ، وعلى وجود الالكترون الايجابي أو بوزيتون وهو جزئية غير مستقرة قصيرة العمر ، تعادل كتلتها كتلة الالكترون العادي أو النوغاتون؛ وعرف ان المزدوج نوغاتون ـ بوزيتون من شأنه أن يبطل نفسه أي ان ينعدم فيولد فرزاً من الفوتون ، وهذه الظاهرة تشكل اخراجاً للمادة عن مادتها وبالعكس قد يزول الاشعاع فيظهر المزدوج بوزيتون ـ نوغاتون وهذا ما يشكل تحويل الاشعاع إلى المادة . ولكن ليس هذا كل شيء . ان دراسة الاشعاع المستمر β للأجسام المشعة حمل المنظرين ، من أجل الحفاظ على مبدأ حفظ الطاقة الذي لم يكن قائماً في هذه الظاهرة ، حملهم على تصور وجود جسيم حيادي خفيف للغاية أسموه « نيوترينو » ؛ هذا الجسيم يصدر مع الاشعاع β المستمر ، ولما كان يستعصي عملياً على الكشف ، فإن الطاقة التي يحملها تبدو وكأنها قد زالت . فضلاً عن ذلك وفي سنة 1935 لم يتردّد الفيزيائي الياباني يوكاوا ، بعد أن انطلق من فرضيات نظرية جريئة ، باعلان وجود محتمل لجزئيات أخرى أيضاً غير معروفة ، كتلتها تعتبر قريبة تقريباً من حوالي 200 مرة كتلة الالكترون ، وتكون وسطاً بين كتلة الالكترون وكتلة البروتون ولهذا سرعان ما أطلق عليها اسم « ميزون » . وبعد ذلك بقليل تمّ التعرف على جزئية جديدة في الإشعاع الكوني تُعرف اليوم باسم « ميزون » µ وهو يبدو متجاوباً تماماً مع توقّعات يوكاوا . ان هذه الاكتشافات كلها أدت بسرعة إلى تجديد كامل لنظريات الفيزياء النووية . وأصدر هيسنبرغ ، بعد اكتشاف النيوترون بقليل الفرضية القائلة بأن النواة تتشكل من بروتونات ومن نيوترونات ، وأن النوغاتون والبوزيتون الصادرة عند الانشطار النووي ، ليس لها وجود سابق في بنية النواة بل هي تتولد عند الانشطار بتحول النيوترون إلى بروتون أو العكس . إن هذه النظرية الجديدة ، بدت في الحال مفيدة للغاية ، وأتاحت تفسير

عدد ضخم من الأحداث في الفيزياء النووية : ويمكن اعتبارها اليوم كأحد الأسس الأكثر صلابة في فيزياء النواة ومع ذلك ان طبيعة القوى ذات مدى العمل القصير جداً ، والمستقلة بشكل واسع عن الشحنات الكهربائية ، والتي توجد بين البروتون والنيوترون في النواة ، وتؤمّن استقرار المجموع ، هذه الطبيعة بقيت غامضة . وتأكدت تحليلات يوكاوا ، باكتشاف لاحق للميزونات ، وأوحت بتفسير لها مفاده : كما ان الفوتونات تتحد ضمن الحقل الكهرمغناطيسي ، فإن الميزونات تجتمع في حقل « ميزوني » يتوافق مع قوى جامدة ذات مدى قصير جداً ، وهذه القوى هي التي توحّد وتجمع مكوّنات النواة . هذه النظرية « الميزونية » حول القوى النووية بعثت آمالاً كبيرة ومهدت الطريق لأعمال ضخمة : ورغم بعض النجاحات ، استطيع القول أنها لم تعط حتى هذه الساعة كل ما كان يؤمل منها . فقد نمت العودة منذ بعض السنوات إلى نماذج من النوى تتوافق مع صور عادية نوعاً ما (نموذج نقطة السائل ، وفرضية الطبقات النووية ، الخ) ، أعطت نتائج مفيدة نوعاً ما إلا أنها قلما يمكن ان تُعتبر نهائية .

في حين كانت فيزياء النواة تتقدّم بسرعة من الناحية التجريبية وببطء أكبر وبصعوبة أشد من الناحية النظرية ، كانت الفيزياء النظرية الكانتية تتخذ شكلاً يزداد تجريداً ويزداد بعداً عن الايحاءات الأولية المستمدة من الميكانيك التموّجي . وهكذا تكوّن ما يسمى اليوم « بالنظرية الكانتية للحقول » ، والمعتبرة من قبل العديد من المنظرين كشكل أكمل في الوقت الحاضر للفيزياء الكانتية . وهذه النظرية ان احتفظت ومدّدت التفسير الاحتمالي والوضعي للميكانيك الكانتي ، ومفهوم الاستكمالية ، تبدو وكأنها شكلانية أنيقة ذات مظهر دقيق ينيح تصوير « مات وخصائص الجزيئات والحقول وتفاعلاتها المتبادلة ، بدون أية صورة دقيقة ومحددة . فهي لا تعطينا أيّة إشارة حول كينونة الجسيم ولا حول بنيته ، وتكتفي بالنظر إلى عدد الجسيمات في كل نوع ، وتغيرها ، أو بصورة أدقّ انها تعطي احتمالات تغيّراتها . ان النظرية الكانتية حول الحقول أدت ـ كما سنرى ـ إلى توقعات صحيحة ، فهي تبدي تماسكاً كبيراً . وحتى أولئك الذين يظنون انها لا تعطينا صورة كاملة حقاً عن الحقائق الميكروفيزيائية ، يتوجب عليهم الاعتراف بأنها تمثل بصدق بعض مظاهر الحقيقة . فقد نجحت نجاحاً كبيراً ، منذ عدد من السنوات (1946-1948) . في هذا الوقت توصل و . ي . لامب Lamb ور . ش . روذرفورد Rutherford ، عن طريق أساليب راديو كهربائية ، إلى اثبات وجود بنيات دقيقة في طيف الهيدروجين ، لا تتطابق تماماً مع توقعات النظريات السابقة الأكثر كمالاً : وأتاح تفسير اقترحه هـ . بيت (H. Bethe) وطوره أنصار نظرية الحقول (طوموناغا ، شوينغر ، فينمان) العثور ، تماماً على النتيجة التجريبية ثمّ ، تأكيداً على هذا النجاح الجميل ، جاءت طرق مماثلة توضح القيمة غير العادية للعزم المغناطيسي في الالكترون وتوضح خصائص البوزيتونيوم . ويمكن ، فضلاً عن ذلك ، التثبت من أن تحليلات النظرية الكانتية حول الحقول ،من أجل تفسير هذه الظاهرات ، يمكن أن توحي بأنه تحت مستوى الواقع الميكروفيزيائي ، حيث تبدو الجسيمات ، يوجد مستوى للواقع أعمق وأكثر خفاء أيضاً ، مستوى تكون فيه جسيمات المستوى الميكروفيزيائي دائماً في تفاعل تستطيع معه في بعض اللحظات أن تغوص فيه أو تخرج منه . وهكذا تملأ هذه الحقيقة العميقة ، التي سماها د . بوهم

Bohm فيما بعد « المستوى فوق الكانتي » ، ما نسميه نحن الفراغ الذي يتصف إذاً بصفات فيزيائية ، مما يبدو وكأنه من مستلزمات وجود الظاهرات ، التي تسميها النظرية الكانتية المتعلقة بالحقول باسم « استقطاب الفراغ » [أو تكثيفه] .

إن النجاح المحقق ، منذ عشر سنوات ، بفضل النظرية الكانتية حول الحقول ، قد جذب نحوها بشدة انتباه المنظِّرين الشبان ، ولكن ، يجب الاعتراف ، بأن هذه النجاحات لم تستمر طويلاً ، وعرفت نظرية الحقول هي أيضاً بعض الهزائم . وقد أدت ، بشكل خاص ، إلى العثور ـ بالنسبة إلى الطاقة الخاصة بالجزيئات ـ على قيم غير محدودة ، غير مقبولة حتماً . ولتجنب هذه الصعوبة الأساسية ، استعملت حيل متنوعة (خاصة « وسائل القطع » التي تجنب اختلاف بعض المتكاملات) ؛ ولكن هذه الوسائل كيفية ، ولا يوجد هنا في النهاية أي شيء مرض أو كاف . ان الصعوبة التي واجهت هنا الفيزياء الكانتية الحالية ، تبدو وكأنها ذات طبيعة مميِّزة خاصة : إن نظرية الحقول ، الكانتية ، بعد قبولها وجهة نظر التفسير الاحتمالي ، امتنعت « مسبقاً » عن النظر في موضعة الجسيمات ، وعن اعطائها بنية واسعة ، من أجل تحديد مفاهيم مماثلة لمفهوم « شعاع الالكترون » ، في النظرية الكلاسيكية التي قال بها لورنتز . شخصياً وبأي شكل نحن نعتقد وجوب العودة إلى فكرة الموضعة وإلى فكرة البنية الممتدة للجسيمات .

ومما يلح أيضاً في انشاء نظرية بنية الجسيمات وخصائصها ، هو الانتشار المدهش للعديد من أنماط الجسيمات المكتشفة حديثاً ، منذ عقدين من الزمن . فبعد « الميزون » μ جاء الميزون π ذو الكتلة الأكبر بقليل ، ثم الميزونات K الأثقل أيضاً . وتم أيضاً اكتشاف جزئيات ذات كتل أعلى من كتلة البروتون ، ولهذا السبب سميت باسم « هيبرون » hyperon . تتحول هذه الجزئيات إلى بعضها البعض ، وباشكال مختلفة غالباً . واذاً فالأشياء في هذا المجال معقّدة إلى أقصى حد لم يكن أحد يتصوّره منذ ثلاثين عاماً . في الوقت الحاضر ، لا توجد أية نظرية تفسّر واقعة أنّ الجسيمات المعروفة حالياً هي كثيرة العدد وانها ذات كتل لها قيم ضئيلة جداً ومحدّدة تماماً ، أو تعطي صورة عن التحولات المتعددة التي يمكن ان تعتريها .

أمام كل هذه الصعوبات التفسيرية ، يبدو لنا أنه ، بعكس ما يمكن أن يظن بعض الأشخاص السيئي الاطلاع ، تجتاز الفيزياء النظرية ، في هذه اللحظة حقبة من الركود الكبير . فحتى أكثر المتحمسين لمناصرة اتجاهها الحاضر يعترفون بهذا . وقد كتب أحد هؤلاء المتحمسين وهور . اوبنهيمر Oppenheimer ، يقول : « من المؤكّد اننا نعيش في عشية ثورة خطيرة جداً ، وربما كانت بطولية جداً ، وعلى كل حال ، مجهولة الكنه تعجز عن فهمها تفسيراتنا ونظرياتنا في الفيزياء » .

إن مثل هذا الوضع يجيز التساؤل : أليس التأويل الشكلي والاحصائي الخالص ، المفروض منذ ثلاثين سنة على الميكانيك التموجي هو الذي يتسبب ـ وذلك من جراء استبعاده لكل صورة محدّدة ومفهومة ـ بكل خيبات أملنا ؟ ولهذا ، ومنذ 1952 ، وبالاتصال مع أعمال د . بوهم وج . ب . فيجيه (J. P. Vigier) ، حاولت أن أعود إلى أفكاري في سنة 1926-1927 ، التي حاولت أن تمثل

الجسيمات بشكل محـدد ، كعارض أو حـدث مموضـع مندمج في بنية مـوجة منتشرة ذات صفة فيزيائية ، وبالتالي الحصول على تصور واضح ومفهـوم لتداعي المـوجات والجسيمـات المتشابهـة نوعاً ما مع الصور التي كانت تستعملها الفيزياء القديمة . في أعمال ذات قيمة عالية ومتطورة حـاول د .بوهم وج . ب . فيجيه اكمال هذه الصـورة مفترضَيْن ان الفـراغ هو المقـر لوسط مخبّأ ذي بنية إعصارية تحكمه الفوضى العنيفة : إن الجسيمات والمـوجات التي تتضمن هـذه الجسيمات تشبـه بنيات فوقية تظهر عند المستوى الميكروفيزيائي ، فوق سطح الجوهر العميق . ان هـذه المحاولات مملوءة بالوعود وتستحق المتابعة .

وكما يقول ر . اوبنهيمر ، ان التحولات القريبة في الفيزياء الكنتيـة لا يمكن توقعهـا ، ولكن يبدو ان هذه الفيزياء تقترب من مرحلة جديدة كلها أزمة وعدم استقرار . وهكـذا توجـد بشائـر تشير إلى أنها ، بالتأكيد ، في عشية أحد هذه « الانتقالات المفـاجئة » التي تبـرز ، في تاريـخ الأفكار ، كما في تاريخ الأنواع ، مراحل التطور .

الفصل الثاني

النسبية

I ـ النسبية الضيقة

1 ـ النسبية قبل 1905

نُظُمُ الاسناد المميزة ، وتحول غاليلي Galilée في الحركية الكلاسيكية ـ حتى سنة 1905 ، ظلّ علم الميكانيك يستلهم المبادىء النيوتنية طارحاً وجود فضاء مطلق « مستقلٍ عن الاجسام الموجودة فيه » ، ووجود زمن كوني شامل « يجري بانسجام وبوتيرة واحدة » .

إن فكرة الزمن الكوني ، المتشابه بالنسبة إلى كل راصد ، مهما كانت حركته ، هي فكرة بديهية آنية .

إنها ترتكز على الفكرة الفطرية بأنّ حركة أي نظام اسْناد لا تؤثر على مجرى الأحداث التي تجري داخل هذا النظام . فإذا كانت : (t, x^p) و (t', x'^p) $(p = 1, 2, 3)$ تمثّلان مدّة ووضع نفس الحدث في نظامين من الاسناد متميِّزين S وS′ ، فان مفهوم الزمن الكوني الشامل يترجم بِـ :

$$x'^p = f'^p\ (x^q, t),\ t' = t$$

ان مفهوم الفضاء المطلق هو أكثر غموضاً ، ليس فقط في نظر « الحس العام » ، بل في نظر نيوتن بالذات . من المؤكد ان الحركية الكلاسيكية تبقي على نسبيةٍ كاملة للحركة .

وبالفعل ، في حال غياب القوى ، يمكن ردّ حركة جسم جامد إلى نظام الاسناد المتكون بفعل جسم آخر ، وهذه العملية هي ، من حيث المبدأ ، تعاكسية (ارتدادية) تماماً : إنّ المعادلات تبقى كما هي مهما كان الجسم المختار كمسند « يمكن القول ان الشيء الواحد مُحَرَّكٌ أو غير محرك بحسب اختلاف النظر إلى موقعه » كما يقول ديكارت .

هذه النسبية الجامعة تبدو لأول وهلة وكأنها ترفض فكرة الفضاء المطلق ضمن حركية خالصة . وبالفعل ، طالما يُقْتصر على مبادىء الحركية فقط ، لا يمكن تحديد مثل هذا الفضاء بأي نظام اسناد مميز ودوره لا يمكن أن يعطي أي وقع أو انعكاس تجريبي .

وعلى كلٍ ، وحتى قبل الديناميك [التحرك] النيوتني ، والادخال الظاهر للقوى ، كان

مفهوم الحركية « الخالصة » محدوداً بمبدأ الجمود . وبموجب هذا المبدأ ، من الممكن دائماً اختيار بعض الانظمة الاسنادية الخاصة : مبادىء الجمود ، وفيها ترسم النقطة المادية « الحرة » خطاً مستقيماً ذا حركة موحدة .

لما كانت الفيزياء لا تستطيع أن تدخل إلا أنظمة جمودية تقريبية ، فلا بدّ من العودة إلى مفهوم نظام الجمود المثالي ، الذي تكون « كل الحركات الحرة بالنسبة إليه ، مستقيمة وموحدة الشكل » . ان هذه الحالة القصوى ، يمكنها إذاً أن تحدد « الفضاء المطلق » الذي يبدو بالتالي ، وبحسب تعريف أولر Euler ، وكأنه الضامن لصلاح مبدأ الجمود . وحتى قبل نيوتن ، تسرب ، بشكل غامض يومئذ ، مفهوم نظام الاسناد المثالي الذي من شأنه التمكين من التثبيت الكامل من مبدأ الجمود .

وان وُجد مثل هذا النظام ، فبالامكان التعريف بعدد غير محدود من الانظمة الأخرى ، التي تتمتع بنفس الخصوصية : ويكون لها ، بالنسبة إلى الأول ، حركة انتقال موحدة الشكل ، وكل نقطة مادية حرة ، محركة بحركة مستقيمة وموحدة بالنسبة إلى واحدٍ من هذه الأنظمة ، تكون حركة من نفس النمط بالنسبة إلى الأخريات .

وانطلاقاً من نظام جمود : S(x, y, z, t) نستخلص عدداً غير محدود من الانظمة المشابهة : S′ (x′, y′, z′, t′)، وذلك بتفسير حركتها المستقيمة والموحدة بالنسبة إلى S :

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t \qquad (1)$$

مع اختيار الاتجاه $\vec{v}$ الذي للحركة الموحدة كمحور (ox) .

في الميكانيك الكلاسيكي ، يحدّد هذا التحول ، المسمى تحول غاليلي ، طبقة من أنظمة الاسناد المميزة ، وفيها يصلح مبدأ الجمود . هذا التحوّل يدخل مبدأ « نسبية ضيقة » : « نسبية » لأن عدداً غير محدد من الانظمة المرتبطة بـ (1) تتساوى من أجل وصف قوانين الحركة ؛ و « ضيقة » لأن هذا التساوي مقصور على الانظمة الغاليلية فقط . وبشكل خاص ، بفعل هذا التغيير في الاحداثيات ، بالامكان دائماً اختيار نظام اسناد (S) فيه يكون مطلق جسم محرك بحركة مستقيمة وموحدة بالنسبة إلى نظام آخر من الاسناد (S′)في حالة سكون . وهكذا توجد نسبية في السرعة .

مبدأ النسبية في الديناميك الكلاسيكي - ان مبدأ الجمود وحده يتيح ، في الميكانيك الكلاسيكي تحديد وتعريف ضيق نسبية الحركة . ومع ذلك ، وبعد الاندماج في الديناميك ، يمكن لنصّ مبدأ الجمود ولنسبية ضيقة ان يجدا كل مداهما .

ان الديناميك النيوتني ، المرتكز على تحديد القوة : $\vec{f} = m\, d\vec{v}/dt = m\vec{\gamma}$ ، يربط التسارعات $\vec{\gamma}$ بظهور قوى حقيقية أو وهمية (وهذه الأخيرة ، كقوى الجمود ، تترجم حركة نظام الاسناد) . إن هذا القانون الأساسي « لا يتغير » (ويحفظ بالشكل نفسه)، في تحول غاليلي (1) : ان مطلق تجربة في الميكانيك لا يمكنها أبداً اثبات الحركة المستقيمة والموحدة لنظام اسناد ، اذا كانت هذه الحركة محددة بـ (1) .

وبهـذا الشأن ، تصـل إلى قانـون (ℒ) هو واحـد في كل هـذه الانـظمـة ، وإذاً لا يمكنـه أن يستخدم من أجل التفريق بينها . وتكون هذه الانظمة متعادلة : والانتقال من احدها إلى الآخر ، لا يمكنه ان يظهر أبداً من خـلال تبدي قـوة ما أو زوالهـا . ان مبدأ الجمـود هو حـالة خـاصة في هـذا التكافؤ : وإذا لم توجد أية قوة في أحد هذه الانظمة الاسنادية ، فالحال يكون كذلك في كل أنظمة الاسناد المميزة المرتبطة بالنظام الأوّل من خـلال (1) .

وهكـذا تترجم نسبيـة السرعـة ، التي تعبر عن نفسهـا بصلاحيـة مبدأ الجمـود في التحولات (1) ، بعـدم تغيـر (ℒ) في نفس هـذه التحـولات . وإذاً فهي [أي النسبيـة] « ضيقـة » ومحصـورة بأنظمة الاسناد الغاليلية .

مبدأ النسبية في الكهرديناميكية الكلاسيكية ـ وإذاً كان الميكانيك الكلاسيكي ، قبل 1905 ، محكوماً بمبدأ نسبية « ضيقة » . ولكن يبدو تماماً ان مطلق نسبية حتى ولو ضيقة لم يكن يمكنهـا أن تمتدّ إلى ميادين الفيزياء الأخرى وخاصة إلى الكهرمغنـاطيسية المكسـويلية [نسبـة إلى مكسـويـل] التي اتسعت وانتشرت تماماً .

ويبدو من المؤكد ، في هذا الشأن ، ان مطلق موجة كهرمغناطيسية موحدة الخواص ، ضمن نظام اسنادي خاص لا تستطيع ان تحتفظ بهذه « التوحيدية في الخواص » في نـظام اسنادي جـديد تحركه السرعة (ϑ) بالنسبة إلى الأول .

وسنداً للقوانين الكلاسيكية حول تركيب السرعات ، تصبح سرعـة الضوء c في النـظام الأول (c ± ϑ) في النظام الثاني ، ضمن هذه الشروط ، قد تتيح تجربةٌ بصريةٌ اظهـارَ « تباين الخـواص » الذي تسببه حركة مستقيمة وموحدة ، وبالتالي ، اثبات وجوده .

في النظرية المكسويلية ، تنتج هذه الامكانية النـظرية عن كـون معادلات مكسـويل (بعكس المعـادلات الأساسيـة في الدينـاميـك) ليست ثـابتـة في تحـوّل غـاليلي . ان تغيـر نـظام الإسنـاد الغـاليلي ، ان لـم يثبت خصـائص ديناميكيـة جـديـدة ، فمن شـأنـه إذاً أن يـظهـر الخصـائص الكهرمغناطيسية التي تسببها الحركة المستقيمة والمرحّدة .

وطيلة ما يقارب مائة سنة ، جهد المجرّبون عبثاً في اظهار مثل هذه الخصائص .

والحـركة التي من شأنها اعمـال سرعـة (ϑ) ضخمـة إلى حـدٍ مـا هي حـركـة الأرض حـول الشـمس : فهي تدخل حدّاً : ($\beta = \vartheta/c = 30/300\,000 = 10^{-4}$) أثبت التقاطه المحتمل « هـواء أثير » ينتشر على سطح فلك البروج ، ويكشف عن وجود نظام اسناد مطلق .

إلا أن غالبية التجارب المستعملة (قياس زمن الاجتياز ، ذهاباً وإياباً ، الذي تحققـه الاشعة الضوئية ، مفعول دوبلر Doppler ، الزيغان) لا يمكن استخدامها ، لأنها تبعد ، بالدرجة الأولى ، كل مفعول لهـواء أثيري محتمـل ؛ ان التجارب الـوحيدة التي تـظهر مفـاعيل من الـدرجة الأولى ، ترتبط باجتذاب الضوء من قبل الأجسام الشفـافة . ان العـديد من المحـاولات من هذا النـوع ، قد وقعت منذ آراغو Arago (1818) حتى زيمان Zeemann (1914) ، ولكن النتائج كانت سلبيـة دائماً ،

رغم الدقة المتزايدة (مجلد 3) . ان هذا الحدث يمكن أن يجد ما يبرره اما بالتمسك بمبادىء الحركية الكلاسيكية (قانون تركيب السرعات) ، واما ، مع فرينل ، باعتماد فرضية الانسياق الجزئي للأثير ، واما باعتماد فرضية معادلة ، مستخلصة من النظرية « الميكرومكوبية » التي قال بها لورنتز (مجلد 3) .

ان هذه النتائج لا يمكنها أن تُعْنى إلا بمفاعيل المرتبة الأولى (في حالة $\beta = \theta/c$) ؛ وانه ، عند هذا التقريب فقط ، يمكن لفرضية الانسياق الجزئي أن تلغي بصورة منهجية كل مفعول لهواء الأثير . والمفاعيل من المرتبة الثانية (في حالة : $\beta^2=\theta^2/c^2$) ، يجب أن يكون لها تأثير حاسم . الا ان التجارب المتنوعة ، والمتزايدة الوضوح باستمرار ، والمعمولة منذ ميكلسون (1881) Michelson ، لالتقاط هذه المفاعيل ، أعطت نتائج سلبية تماماً (مجلد 3) .

التفسير الكشفي عند لورنتز ـ بوانكاريه ـ من أجل محاولة تفسير هذه النتائج التي تعبر عن نسبية غامضة وضيقة في مجال لا يفترض أن تظهر فيه ، افترض فيتزجيرالد Fitzgerald وهـ . لورنتز ان كل الأجسام المدفوعة بحركة مستقيمة وموحدة يجب أن تتلقى تقلصاً مقداره $\sqrt{1-\beta^2}$ باتجاه حركتها (مجلد 3) .

ان التجارب المُجرّاة ، لتحقيق هذا المفعول بدت ، مرة أخرى أيضاً ، سلبية تماماً ، فافتُرِض ان مفاعيل التقلص أو التقبض كانت بذاتها مغطاة بتزايد الكتلة الساكنة (m_0) مع الحركة . في هذه الشروط أدى التغير المتزامن في الاطوال وفي الكتل : $l = l_0\sqrt{1-\beta^2}$; $m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$ وبصورة حكمية ، إلى استحالة التقاط تأثير مطلق حركة مستقيمة موحدة على مطلق ظاهرة ابصارية. وأخيراً ، وهنا آخر أثر ساقطٍ متهاوٍ يحبس الأثير في عدم عملي ، يتوجب أيضاً تعريف قياس للزمن خاصٍ بكل نظام اسنادٍ غاليليٍ .

وهكذا بحسب رأي لورنتز ورأي بوانكاريه أيضاً تصبح المطابقة :

$$x' = (x - vt)/\sqrt{1-\beta^2}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \left(t - \frac{\beta x}{c}\right)/\sqrt{1-\beta^2} \qquad (2)$$

صالحة بين معطيات الفضاء والزمان المقاسة ضمن نظامين يتحركان بحركة مستقيمة موحدة . وهي تمثل أيضاً الشروط الضرورية والكافية ، حتى لا تستطيع تجربة ابصارية ، مهما كانت ، أن تُظْهِرَ الحركة المستقيمة والموحدة في مطلق نظام اسناد .

إلى هذه النتائج يجب ان نضيف أيضاً نتيجة التغير في الكتلة المرموز اليها بـ $m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$ التي يُفترض بأنها ـ حسب زمن لورنتز ـ تحمل كتلة « ذات منشأ كهرمغناطيسي » ، باعتبار الكتلة الميكانيكية باقية على حالها .

وعندما دلت تجارب غويه Guye ولافانشي Lavanchy (1916) ان كامل كتلة الكترونٍ ما تتغير بحسب هذا القانون ، استُنْتِج من ذلك ، ان هذه الكتلة كانت بكاملها من منشأ كهرمغناطيسي . ويبدا إذاً أنّه من الممكن تعريف « شعاع » من الالكترون . وهذا الأخير يصبح ، وفقاً لنظرية لورنتز ، جسيماً مزوداً ببنية ، ويصاب ، تبعاً للحركة ، بتغيرات في الشكل مطاطية .

الكهرمغناطيسية ومبدأ النسبية الضيقة ـ ان الشروط (2) التي ذكرهـا و . فواغت (W. Voigt) (1887) والمعروفة باسم تحويل لورنتز (الفيزيائي الذي جهد في توضيح حقل تطبيقها ، ونتائجها الفيزيائية) تحل محل تحويل غاليلي ، لتفسير الرابط بين نظامين للاسناد في حركة مستقيمة وموحدة . في الميكانيك السابق على النسبية ، أصبحت أنظمة الجمود هكذا « أنظمة لورنتزية » .

بيّن هـ . بوانكاريه ان معادلات مكسويل تبقى لا متغيرة عندما تخضع لتحويل لورنتز . وانطلاقاً من هذا ، إذا ارتبط نظامان متحركان حركة مستقيمة وموحدة بتحويل من هذا النمط ، فإن أية تجربة ابصارية أو كهرمغناطيسية لا تستطيع التقاط حركتهما النسبية . وإذاً يقيم تحويل لورنتز (مسبقاً) مبدأ نسبية ضيقة في مجال الإبصار .

إنّ تحويل لورنتز يعادل تماماً تحويل غاليلي ، في سرعات أقلّ بكثير من سرعة الضوء . ولكن يبدو من الضروري الاختيار بين مبدأ نسبية ضيقة صالحة في الإبصار المكسويلي (مع تحرّك لورنتز) ومبدأ مماثل صالح في ميكانيك نيوتني (مع تحويل غاليلي) .

إن النتائج السلبية المحققة في هذا المجال أو ذاك ، تحث على التمسك ـ في مجمل الفيزياء والميكانيك ـ بمبدأ وحيد من النسبية الضيقة . من هذا التدافع بين علم الابصار وعلم الديناميك ، في مطلع القرن العشرين ، خرج علم البصريات منتصراً : ان على الديناميك ان يتكيف مع نموذج النظرية الكهرمغناطيسية ، لكي يصبح ، هو أيضاً ، لا متغيراً في تحويل لورنتز . هذا الاستنتاج ليس فيه ما يثير الدهشة : ان الميكانيك ليس فرعاً من الفيزياء التي هي في جوهرها مميزة . بالعكس ، ان دقة تجارب الابصار يجب أن تضع بقوة معادلات مكسويل ، وبالتالي أن تحدد الصفةَ العميقةَ السلبية في التجارب المتعلقة بهواء الأثير . والنتيجة الملازمة لهاتين النتيجتين هي بالضبط تحويل لورنتز .

تحويل لورنتز ومبدأ النسبية ـ في سنة 1905 ، وقبل الاصلاح الذي قام به انشتين ، بدت الأسس التحليلية لـ « النسبية » الضيقة ، في الاجمال ، موضوعة ومقررة : فهي تكمن في تحويل لورنتز الذي يؤمن التعادل بين كل الأنظمة ذات الحركة المستقيمة والموحدة والمرتبطة بهذا التحويل . الا أن أسس هذه « النسبية » وأسس تعبيرها التحليلي قد بقيت مجهولة .

إن فرضية التقلص احتفظت ، في نظر لورنتز وبوانكاريه ، بصفة مصطنعة . فهي قد شكلت ، بحسب تعبير م . بورن ، نوعاً من « الالتواء الملائم » ، الذي بفضله قام التعادل بين كل الأوصاف اللورنتزية .

ان هذه الفرضية ، كما هي موجودة في أعمال فيتزجيرالد الأولى ، تعبر عن مظهر القوى الحقيقية التي يحدثها الأثير في الاجسام المتحركة : تشويه مطلق ، مستقلّ عن نظام الاسناد المستعمل . ومن جهته حاول لورنتز حتّى ان يربط هذه المفاعيل بتفاعلات جزيئية .

إن مقدّمات لورنتز تبدو غريبة تماماً عن فكرة النسبية الأساسية . ان فرضية الفضاء الكهرمغناطيسي الساكن اطلاقاً ، ومفهوم الزمن الكوني ، يبقيان ، بالنسبة إلى لورنتز ، قريبين جداً من المفاهيم النيوتنية . ان الاحداثيات المحلية والزمن المحلي تبقى متمايزة في فكره عن الاحداثيات والزمن الحقيقية .

كان هنري بوانكاريه أقرب إلى مفاهيم انشتين وقد استشعر بالصعوبة العميقة في تعريف التزامن المطلق بل انه أدرك الصعوبات العملية التي تطرحها الاستحالة الفعلية للاشارات الآنية . ومع ذلك لم يجرؤ على استبعاد امكانية وجود هذه الاشارات ، أي وجود ـ ولو نظرياً على الأقل ـ تزامن مطلق وعن بعد .

ولهذا ، وعلى الرغم من الشكلانية النسبية التي قرّرها فواغت (Voigt) ، ولورنتز وبوانكاريه فإنّ الاصلاح الذي جاء به انشتين يبقى أساسياً وضرورياً .

كتب انشتين بنفسه يقول : « ان نظرية النسبية الضيقة كانت ناضجة سنة 1905 » . . . « ويفسّر فيقول : الشيء الجديد هو اكتشاف أن مدى تحويل لورنتز يتجاوز ارتباطه بمعادلات مكسويل وهو يدخل طبيعة الفضاء والزمن . والشيء الجديد ، هو ان لا متغيرة لورنتز هي شرط عام صالح في كل نظرية فيزيائية وهذا الاستنتاج ذو أهمية كبيرة لأني اكتشفت في السابق ان نظرية مكسويل لا تفسّر البنية الميكروسكوبية للاشعاع ، وإذاً فهي لا تستطيع ان تطمح لأن تكون صالحة كونياً » .

2 ـ مبدأ النسبية الضيقة (انشتين 1905)

ألبرت انشتين وفيزياء بدايات القرن العشرين : تبدو سنة 1905 وكأنها السنة الحاسمة التي استطاعت فيها الفيزياء اجتياز هذا المنعطف الصعب الذي سوف يقودها نحو تطورها الحاضر . ان تركيبات مكسويل وانتقادات ماش (ماخ Mach) وهيرتز وبوانكاريه تحمل نواة « النسبية » ؛ ان نجاحات النظرية الذرية ، والميكانيك الاحصائي ، سوف تفرض عودة ضرورية إلى فكرة استمرارية الاشعاع . ان مفاهيم الطاقة النووية ، وتكاثر عناصر المادة ، والتنكر لنظرية الحتمية الكلاسيكية ، وتوسيع علم الكون (كوسمولوجيا) النيوتنية ، كل ذلك كان كامناً في الاصلاحات الأساسية التي جرت سنة 1905 والتي سوف يحركها ألبرت انشتين ثم نيلز بوهر .

ولد ألبرت انشتين في 14 آذار سنة 1879 في مدينة أولم Ulm . وبعد ذلك بسنة أقامت عائلته في ميونخ وكان هرمن انشتين ،والد ألبرت، يدير مصنعاً صغيراً للكيمياء الكهربائية . وهو من منشأ إسرائيلي ولكن عائلة انشتين قلما احتفظت بمعتقدات موروثة عن الجدود الا باستثناء نوع من الانسنة المقرونة بتسامح كبير ، ومحب للأدب المثالي والموسيقى . تعلم ألبرت انشتين في المدرسة الابتدائية الكاثوليكية ثم في ثانوية ميونخ . وقبل في مدرسة البوليتكنيك الفدرالية في زوريخ ، فتتلمذ انشتين على يد هـ . منكوسكي Minkowski الذي قام فيما بعد بتقرير الشكلانية ذات الأبعاد الأربعة والتي تتوافق مع نظرية تلميذه .

في مطلع القرن دخل انشتين بعد أوضاع تعليمية هزيلة إلى مكتب براءات الاختراعات التقنية في برن . كرس أوقات فراغه للبحوث النظرية التي أدت فيما بعد إلى نشر أول دراسة له سنة 1905 حول النسبية الضيقة . وفي نفس هذه السنة صدرت له دراسة ثانية جمعت بحوثه حول الحركة البرونية . وقد أثبتت الملاحظات المحققة حول هذا الموضوع (ج. بيرّان J. Perrin) توقعات انشتين بصورة كاملة . ومن أجل هذه المذكرة ـ وليس من أجل التأملات الموغلة في تجديدها حول المذكرة الأولى ـ منح سنة 1921 جائزة نوبل في الفيزياء وأخيراً ودائماً في نفس السنة صدرت له مذكرة ثالثة (حول وجهة نظر كشفية تتعلق باحداث الضوء وتغيره) تدعم نتائج بلانك بنظرية جديدة

للفوتون ، وهي جسيمات ضوئية ذات طاقة hν سوف يؤدي ادخالها إلى تجديد نظرية الحقل الكهرمغناطيسي ، وإلى بعث الميكانيك التموّجي المستقبلي .

وعين استاذاً خاصاً (يتقاضى اجرته من الطلاب مباشرة) في برن ، ثم استاذاً في جامعة زوريخ (1909) ثم في سنة 1910 اسندت إليه كرسي الفيزياء النظرية في جامعة براغ ، ثم في سنة 1912 عاد إلى المدرسة البوليتكنية الفدرالية في زوريخ ، كصاحب كرسي . وفي آخر 1913 قبل المركز الذي قدمته له جامعة برلين . في تلك الحقبة كان ماكس بلانك وو . نرنست N. Nernst يعلمان في هذه الجامعة ؛ وفيما بعد ساعد ماكس فون لو Von laue وج . فرانك ، وج . هرتز Hertz ، ول . ميتنر Meitner ، وي . شرودنجر على شهرة انشتين . وحوالي سنة 1930 كانت المجموعة البرلينية في الفيزياء هي أبرز مجموعة في العالم كله .

وحوالي سنة 1913 كان انشتين ما يزال يهتم بتعميم الحركات المتسارعة في نظريته حول النسبية الضيقة . ومن جهة أخرى حاول ان يحدّد تأثير الجاذبية على الضوء وانتشاره ، وكان يعتقد ان المسألتين لا تخلوان من رابط بينهما وبالفعل ان هذا الرابط يكمن في بنية غير اقليدية للفضاء ـ الزمن . وكان انشتين قد تعمق في الجيومتريات من هذا النمط والتي كان ليفي سيفيتا قد طورها وفي سنة 1919 بدت النظرية الجديدة ثابتة ، ثم مع برنامج الذكرى السنوية الأولى للهدنة قدمت الصحف البريطانية هذا العنوان : « ثورة في العلم ؛ أفكار نيوتن تنهار » .

وبدأت النسبية العامة في نظر الاختصاص وكأنها تقديم عجيب في نوع هذه النظرية ، أو كنجاح شبه مدهش . لا شك ان النسبية الضيقة « كانت موجودة في الجو » سنة 1905 ؛ وبالعكس ان النسبية العامة لم تكن لتثمر الا بفضل الجهد الوحيد لفكر بمثل هذه الجرأة والاصالة . وظل انشتين حتى وفاته مواظباً على تطوير تركيبة توحيدية يمكنها بواسطة نفس الرسمة الجيومترية تفسير الحقول المتنوعة ، والسمات المختلفة في المادة .

ومرعان ما اجتذبت نظريات انشتين انتباه الجمهور .

وقد اجتهد البعض في تبيين النتائج التي وصفت بأنها مدهشة ، وذلك بتأويلات غالباً ما كانت مضلّلة ومشوّهة : مسافر لانجفان Langevin الذي يجتاز الفضاء ما بين الكواكب بسرعة الضوء مع بقائه في شباب دائم ، فكرة الزمن الخيالي ، الزمن الذي تمكن السباحة عبره وفكرة فضاء ملتو كما الكرة الفارغة ، كل هذا كان جزءاً من نوع من الخيالات الشعبية أوحت بها قصص ولز Wells الخيالية ، كما « النسبية » .

وانتشرت نظرية انشتين بين الفيزيائيين بسرعة وتولى شرحها اخصائيون عظام أمثال م . فون لو في المانيا وآ . س . ادينغتون Eddington في انكلترا وب . لانجفان في فرنسا . ومهما ركزنا فاننا لن نصل إلى ذكر ما يجب ذكره حول ما يعود إلى النسبية الضيقة في نشأة الميكانيك التموجي . كان لويس دي بروغلي متشبعاً بعمق بالأفكار النسبية فكان يعرفها بشكل مدهش . والمعادلة الأساسية : $\lambda = h/m\vartheta$ والتي تربط بالجسيم ذي الكتلة m والسرعة ϑ ، طول موجة λ تستنتج مباشرة من الحركية النسبوية المطبقة على الموجات وعلى الجسيمات . ويمكن اعتبار هذه

العلاقة كتثبيت غير متوقع للنسبية الضيقة .

ان وقع نظريات انشتين في التيار الفلسفي المعاصر لم يكن أقل ضخامة . لقد تأثر انشتين بكانت Kant وهيوم Hume وسبينوزا Spinoza ولكنه تأثر بشكل مباشر جداً بمبادىء الميكانيكي ماش التي قادت خطاه . وعلى كل ، لم يستطع انشتين أن يترك « عقيدة فلسفية » بل ترك نوعاً من المناخ الايماني بقيمة العلم في وعيه العميق . وخلافاته مع بوهر تجد جذورها الاعمق في مطلب لا ينتمي إلى مذهب محدد بل يبقى ميتافيزيكياً (ما ورائياً) بشكل عميق .

وترك انشتين المانيا سنة 1933 ، عقب وصول هتلر إلى السلطة ، فأقام في الولايات المتحدة في « معهد الدراسة المتقدّمة » في مدينة برنستون Princeton . وعرف شيخوخة منعزلة ، معزولة تماماً عن التيارات الحديثة في الفيزياء بعد هيروشيما التي هي نتيجة أخرى للنسبية الضيقة . وبقي على اعتقاده بالتوحيدية ، وبالتسامح العميق الذي لم يتزعزع . وعند وفاته التي حصلت في 18 نيسان 1955 شعر كل الذين عرفوه بخسارة شخصية لموته .

كان انشتين أكثر من فيزيائي وأكثر من معلم ، اذ كان تجسيداً لسلم من القيم ، كما كان يطلب للعلم عقلانية شاملة ، وكان يمثل الايمان بالعظمة الانسانية في أعلى درجاتها وفي أكثرها تواضعاً .

المسلّمة الأساسية عند انشتين ـ كان الديناميك الكلاسيكي يرتكز على مبدأين قابلين للانفصال تماماً :

1 ـ يوجد تعادل بين كل أنظمة الجمود (بحركة مستقيمة وموحدة انطلاقاً من واحد منها) من أجل وصف قوانين الحركة .

2 ـ ان أنظمة الجمود هي أنظمة غاليلية . وينتج عنها القاعدة الكلاسيكية حول تركيب السرعات الذي يسمح بالتقرير بأن سرعة الضوء تختلف في نظامين غاليليين مختلفين .

وفضل انشتين يقوم على انه بين أنّ هاتين المسلمتين ليستا مرتبطتين . ان الصيغ التي جاء بها لورنتز تعبر عن انفصالهما فعلاً . وانتقادات انشتين حول مفهوم التواقت ، سوف تحدث انفصالاً في القانون .

ووسّع انشتين المسلّمة الأولى فأشملها ـ كما تقضي بذلك التجربة ـ الميكانيك والكهرمغناطيسية وكل الفيزياء (حوليات الفيزياء مجلد 17 ,1905 ؛ النشاط الاشعاعي والالكترونيك ، مجلّد 4 ,1907) .

I ـ يوجد تعادل بين كل أنظمة الجمود (بحركة مستقيمة وموحدة) ليس فقط في الديناميك بل في كل الفيزياء .

ومن جهة أخرى ، أحلّ محلّ المسلمة 2 المبدأ التالي :

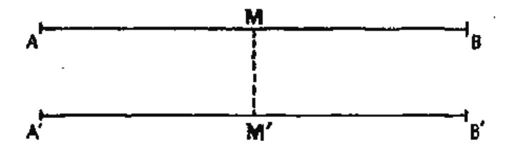
II ـ في الفراغ ينتشر الضوء بشكل موحد الخواص . وسرعته هي ثابتة كونية c . وإذاً فسرعة الضوء تبقى واحدة في كل أنظمة الاسناد الغاليلية . وتقتضي هذه النتيجة قانوناً نسبياً حول

تركيب السرعات مختلفاً عن القانون الكلاسيكي . انها تجر بالتالي صيغ لورنتز (2) ومنها تنبثق مبادىء علم الحركة الجديد .

مفهوم التواقت من بعيد ـ إن ثبات سرعة الضوء في كل الأنظمة اللورنزية ينتج عن قانون التحويل (2) . والاصالة العميقة في نظرية انشتين تقوم على ربط هذا القانون بنقد للمفهوم الكلاسيكي حول التواقت من بعيد ، ثم استخلاص هذا القانون من تحليل لمفاهيم الفضاء والزمان . حتى سنة 1905 ، بدا مفهوم التواقت من بعيد وكأنه يقدم حساً استلهامياً أكيداً . وحاول انشتين أن يوضح شروط تحديد فعلي لمثل هذا التواقت . أن التواقت لا يمكن أن يتحقق الا بتبادل اشارات ، والغريب انها اشارات كهرمغناطيسية أكثر سرعة وأكثر أهلية لتفادي كل خطأ .

إذا كان هناك حدثان A وB متواقتان ، لو كان الراصد M واقفاً في وسط A وB ، يتلقى بنفس الوقت الإشارات الضوئية الصادرة عن A وB .

هذا الاصطلاح لا يفترض شيئاً حول خصائص الضوء وبشكل خاص حول تواقت أو تزامن المسارين AM وBM . وتتيح مثل هذه الخاصية تعريف التواقت المطلق . ولكنها تفترض هي بذاتها وجود أسلوب مسبق لقياس الزمن . ان معيار التواقت النسبي هو إذاً اصطلاح يبقى قائماً وصالحاً في نظام الجمود S المرتبط بـ A M B ، لأن الحركة المطلقة في S بالنسبة إلى الأثير غير قابلة للرصد .



ولما كان التواقت النسبي محدداً في S ، فإنه يبقى محفوظاً في نظام آخر جمودي S' . والمثل الكلاسيكي الذي تصوره انشتين هومثل السكة الحديدية AB التي يتحرك فوقها قطار A'B' بسرعة v . تفترض M' نقطة وجود القطار التي تتوافق مع النقطة M التي هي منتصف AB .

عندما يتلقى M بآن واحد الاشارات المنبثقة عن A و B ، يسجل الراصد M' المتنقل عندها باتجاه B بالعكس من ذلك وبصورة أبكر الإشارات الصادرة عن B أكثر من الإشارات الصادرة عن A . وهكذا يحكم بان الاشارات الصادرة عن A وعن B ليست متواقتة لأن تطابق وصولها إلى المنتصف M' من A'B'، بالنسبة إليه ، هو أيضا ، يعتبر المعيار الوحيد للتواقت . إن الحدثين المتواقتين بالنسبة إلى M ، ليسا متواقتين بالنسبة إلى M' . ولا يمكن الاعتراض على هذا الأستنتاج بأن تجربة M هي خاصة مميزة ، باعتبار M في حالة سكون في حين ان M' ليست ساكنة : ولا توجد أي تجربة في الفيزياء تستطيع أن تثبت الحركة المطلقة لـ M' و M . ان كل راصد يستطيع إذاً ، وبحق ، التأكيد على أن نظامه الخاص هو في حالة سكون وان الآخر يتحرك .

ولا يوجد تواقت مطلق ، أي تواقت تحققنا من كونه كذلك ، في أنظمة جمودية مختلفة .

انتقاد مفهومي الفضاء والزمان ، تقلّص الابعاد وتمدّد الفترات ـ يمكن ان نبين ان استحالة تعريف التواقت من بعيد تجر وراءها تقليص الأطوال وتمديد الفترات وهما أمران أدخلهما لورنتز تجريبياً .

لو كانت l'_0 هي طول، مقاس ضمن نظامه الخاص ، معيار مرتبط بالنظام S′ فطول نفس هذا المعيار إذا قاسه راصد من النظام S ، يكون $l = l'_0\sqrt{1-\beta^2} < l'_0$ ويجد الراصد S ان قاعدة S′ قصيرة جداً . وهذا الاستنتاج متعاكس بشكل أساسي . فلو كان l_0 هو الطول المقاس عند S ، لمعيار مرتبط بنظام الجمود هذا ، فان الراصد عند S′ يعطي لهذه القاعدة طولاً يساوي : $l' = l_0\sqrt{1-\beta^2} < l_0$ ، ويستنتج ان معيار طول S قصير جداً . هذه التعاكسية في الارصاد المحققة ضمن النظامين S و S′ هي أساسية . فاذا كانت الاستنتاجات غير متعاكسة ، لامكن اكتشاف ـ من خلال هذا اللاتناظر ـ الحركة المستقيمة الموحدة « الصحيحة » لأحد نظامي الاسناد . أمّا التعاكس فيؤدّي إلى النسبية في التجارب المتبادلة التي يقوم بها الراصدان .

إن فرضية التقلص تحتفظ في نظر لورنتز وفي نظر بوانكاريه بصفة اصطناعية . وبمعنى « النسبية الضيقة » لا ينتج التقلص في الاطوال عن قوى ذاتية خاصة . الا انه لا يشكل « تمويهاً » إذ يجب عندها معارضته « بواقع » متميز . ولكن كل الرصاد الغاليليين متساوون والطول هو بصورة أساسية « نسبي » يتعلق بنظام الاسناد المعتمد . وتنتج هذه النسبية مباشرة عن استحالة مستعصية في تعريف تواقت من بعد أي تعريف السرعة المتناهية لكل إشارة مستخدمة وذلك من أجل التثبت من هذه السرعة .

وبشكل مماثل أدّى تحويل لورنتز إلى تغير مدة نفس الحدث مقدراً عبر نظامين من الجمود متمايزين S و S′ .

إذا كانت t'_0 هي مدة حدث مقاس ضمن نظامه الخاص S′ فإنّ القياس الجاري من قبل راصد من نظام آخر S يؤدي إلى النتيجة التالية : $t = t'_0/\sqrt{1-\beta^2} > t'_0$. وبالعكس إذا كانت t_0 هي مدة حدث مرتبط بـ S ومقاس ضمن هذا النظام ، فإنّ الراصد من S′ يقيس كما يلي $t' = t_0/\sqrt{1-\beta^2} > t_0$. ان كل الظاهرات تتباطأ إذاً بالنسبة إلى رصاد غير الرصاد في النظام الخاص . وهذا يعني القول بأن الحركة تحدث تمدداً في المهل ولكن هذا الاستنتاج هو عكسي . ومطلق راصد يحكم دائماً بأن معيار الزمن عند زميله اللورنزي يتأخر .

وبالغاء مفهوم الزمن المطلق ، أعطت « النسبية » الضيقة أدواراً مماثلة لاحداثيات الفضاء وللمتغير المؤقت . واستحدثت فضاء ـ زمناً ، وحده الإطار المؤهل لوصف الظاهرات الفيزيائية . وأتاحت مصطلحات هـ . مينكوسكي (H. Minkowski) (Raum und Zeit.... 10, 1909. p. 104) توضيح الشكلية الصالحة في هذا الفضاء الرباعي الابعاد .

الحركة النسبية ـ ان النسبية الضيقة هي في الأساس حركية ، ويمكن استخلاص مبدأ عام عن تركيب السرعات ، من خلال قانون تحويل لورنتز العام ، قانون يوفق بين التعابير عن نفس

الحدث القضائي الزمني في نظامين اسناديين S و S' ، الحدث الذي تتّخذ سرعته w ، اتجاهاً ما بالنسبة إلى المحاور .

وإذا تعلق الأمر بسرعاتٍ متوازية $(v'_y = v'_z = 0 ; v'_x = v')$ ، نستخلص السرعة الحصيلة ϑ ، لنقطةٍ ما P ، بالنسبة لـ S' من السرعة النسبية ϑ لـ P ، بالنسبة إلى S ، كما نستخلص من سرعة الاندفاع w بواسطة المعادلة : $v = (v' + w)\Big/\left(1 + v'\frac{w}{c^2}\right)$ ، التي تتيح التعرف مباشرة على نتيجة تجربة فيزو Fizeau . باعتبار $\vartheta = c/n$ وباعتبار w سرعة اندفاع تيار الماء :

$$v \simeq \left(\frac{c}{n} + w\right)\left(1 - \frac{w}{nc}\right) \simeq \frac{c}{n} + w\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

وهكذا نعثر من جديد على صيغة اندفاع فرينل $(\propto = 1 - 1/n^2)$ (Fresnel) بواسطة تأملات حركية خالصة . من المعروف ان تجربة فيزو الحاسمة (مجلد 3) تنتج هنا ، مباشرة ، بدون أية فرضية ميكانيكية ، عن تأملات حركية خالصة . وهكذا ، لاتشكل هذه التجربة رائزاً بين فرضيات اندفاع جزئي للأثير ، أو الأثير الجامد ، لأن هذه التجربة ترتبط بحركية يستبعد منها الأثير .

ومن جهة أخرى ، ان هذه التجربة لا تمثل ، كما هو سائد في الاعتقاد ولمدة طويلة ، تجربة أساسية من شأنها الفصل بين النظرية التذبذبية والنظرية الجسيمية . هذه التجربة أقرت بواسطة فرضيات جُسَيمية ، وهي تمثل تعبيراً مماثلاً ، في حالة انتشار موجات مسطحة .

والواقع ان الرائز التجريبي الحقيقي يفترض تعداداً دقيقاً وشاملاً لكل المسلمات المقبولة . ولكن مثل هذا التعداد هو بالتأكيد مستحيل . لقد افترض فرينل ولورنتز ، ضمناً، ان الحركية الكلاسيكية كانت قابلة للتطبيق . وكان على « النسبية الضيقة » أن تبين ان الأمر يتعلق بمسلمة تحكمية اعتباطية ، وهو أمر مقبول غالباً ، وزيادة على ذلك بمسلمة مجهولة ، وهذا أمر خطير دائماً .

نضيف أن قانون تركيب السرعات ـ المطبق على انتشار ضوء غير وحيد اللون ، في وسط ذي مؤشر n (ν) متغير بتغير عرض الموجة ـ يتيح التنبؤ بسرعة حصيلية متغيرة بفعل مفعول تشتّتي $\frac{1}{\nu}\frac{dn}{d\nu}$. ان هذا التنبؤ الجديد للنسبية الضيقة قد أثبت من قبل زيمان (1914-1915) (Zeeman) .

مفارقات « النسبية الضيقة » ـ تحت اسم « مفارقات » نقصد اما استنتاجات النسبية الضيقة التي تبدو وكأنها تصدم الحس السليم واما ، على العكس ، تجارب فكرية تبدو متناقضة مع مبادىء النسبية الضيقة . الأولى هي مفارقات تناقض الاستنتاجات الشائعة ، والثانية مفارقات تغاير « النسبية » بالذات . وفي الواقع أن أياً من هذه المزاعم ليس له أساس .

ان الاعتراضات على مفهوم التواقت من بعيد ، قد فُهمت بصعوبة . مثال ذلك ، تطبيق مبدأ التقلص على جامد ذي أبعاد كبيرة ، سائر بسرعة تقارب (c) . ان تقلص الأطوال ، الذي نصت عليه معادلات لورنتز ، ينطبق من حيث المبدأ على جامد مثالي مرتبط بشكل متصلب بنظام لورنتزي . ولكن بالمعنى الحصري ، يتعارض مفهوم الجامد الصلب مع مبادىء النسبية الضيقة .

مثل هذا الجامد يتضمن ، في هذا الشأن ، عدداً قليلاً من درجات الحرية ، وأي انحراف في احدى نقاطه ينتشر آنياً عبر الجامد كله ، وهو أمر يتعارض مع فكرة السرعة المتناهية . ان مبدأ التجربة بالذات هو خيالي وهمي تماماً بمعنى النسبية الضيقة .

وبصورة مماثلة ، هناك مفارقات أخرى ضد « النسبية » الضيقة ، تخالف من بعض الأوجه القواعد الأساسية لهذه النظرية ، وإذاً فهي لا يمكنها أن تستخدم كمجال تطبيق . وأشهر هذه المفارقات ، هي المفارقة التي يطلق عليها غالباً اسم «مفارقة مسافر لانجفان» (Langevin) . توأمان، J_1 و J_2 مرتبطان في الأصل بالنظام S ينفصلان ، يقوم J_1 برحلة تقوده في النهاية إلى نظام الاستناد الأساسي . نلاحظ عندئذ ان المسافر J_1 قد تقدم به السن اقل مما حصل لـ J_2 وذلك بمقدار ما تكون سرعته أكبر . ان المقارنة بين J_1 و J_2 تتيح بالتالي اكتشاف نظام الاستناد الذي بقي جامداً غير متحرك ، وهذا أمر مغاير لمبدأ النسبية . ولكن من الواضح ان هذه « المفارقة » ، تُهمِل مبدأ التسارع ، في الانطلاق وعند الوصول ، واثناء حدوث تغير محتمل في الاتجاه . ومهما كانت هذه التسارعات ، فتدخلها المحتوم يربط هذه المسألة بمبادىء النسبية العامة لا بمبادىء النسبية الضيقة .

وبالتعريف ، تهدف مسألة النسبية الضيقة إلى مقارنة التقدير « الفضائي ـ الزمني » ، لحدث واحد في نظامين لورنتزيين ، مما يستبعد مقارنة حدثين ضمن نظام اسناد واحد يتخذ عندها دوراً مميزاً .

وأخيراً ان النسبية الضيقة لا تهتم الا بنقل فعلي لمادةٍ أو لطاقة .

وفي حالة انتشار الموجات ، تمثل سرعة المجموعة (V) انتشار طاقة ، وهي بحالها هذا تبقى أدنى من سرعة الضوء . وبالعكس ان سرعة شكل الموجات $u=c^2/V$ ، ككمية متناسقة مع سرعة ما ، لا تتميز بأي نقل للمادة والطاقة . وإذا فهي يمكن أن تكون أعلى من (c) .

ان كل انتشار حقيقي له سرعة أقل من (c) . ولهذا ان مجرى الاحداث المرتبط بنظام خاص ، لا يمكن قلبه ووضعه ضمن أي نظام اسناد آخر . وهذه الميزة ، ترتبط بشكل خاص ، بمفهوم السببية : إذا كانت هناك ظاهرتان A و B بحيث ان A← (تتبع) B ، يوجد انتشار سرعة أقل من (c) من (A) نحو (B) : وترتيب الحدثين B,A يكون عندئذ واحدا في كل أنظمة الاسناد .

بناء حركية (ديناميك) نسبوية . تَعَادُلُ « الكمية ـ الطاقة » : كانت النظرية الكهرمغناطيسية عند مكسويل نسبوية ، قبل أن تصل النسبية إلى ما هي عليه . فقد أتاح ادخال الحث الكهربائي (فاراداي) وتيار الانتقال (ماكسويل) الاعلان عن المعادلات الكهرمغناطيسية في شكلانية تغييرية مشاركة خالصة .

بالمقابل ، كان من الضروري تقديم إعادة تدوين للقانون الأساسي في الديناميك : هذا القانون ـ الثابت في تحويل غاليلي ـ كان عليه أن يتقبل لا تغيّر (invariance) لورنتز .

وعندها يتوجب إجراء التحويل التالي :

$$f = m_0 \frac{dv}{dt} \quad \rightarrow \quad F = m_0 \frac{du}{d\tau} \qquad \left(u^\mu = \frac{dx^\mu}{d\tau}\right)$$

حيث m_0 هي كتلة الجزيء في حالة السكون ، وu^μ سرعة كون محدّدة تبعاً للزمن τ الخاص بكلّ نظام لورنزي (زمن تحدّده ساعة ثابتة في هذا النظام) .

إلّا أنّنا نعرف أنّ الطاقة الحركية $T_0 = 1/2\, m_0 v^2$ ، تُحدّد في الديناميك النيوتني بواسطة : $\vec{f}.\vec{v} = dT_0/dt$.

وفي الديناميك النسبي ، نحصل بشكل مماثل على $\vec{F}.\vec{v} = dT/dt$ حين تكون : $T = (m - m_0)\, c^2$.

ان الكتلة $m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$ ، كتلة الجزيء المتحرك ، تتيح تحديد طاقة للجزيء $W = mc^2 = T + m_0c^2$ تختلف عن الطاقة التحركية T بطاقة تساوي عند السكون $W_0 = m_0c^2$. وتمثل W_0 الطاقة الداخلية في الجزيء ؛ وهي تعادل كتلة ساكنة : $m_0 = W_0/c^2$.

ان التكافؤ بين الكتلة والطاقة (انشتين ، 1905) يسمى في أغلب الأحيان « مبدأ جمود الطاقة » . وسنداً لهذا المبدأ ، لا يوجد أبداً ، كما في الديناميك النيوتني ، حفظاً للكتلة متميزاً عن حفظ الطاقة . ان تغير الكتلة : $\Delta m = m - m_0 = T/c^2$ يساوي حاصل قسمة الطاقة المنبثة على (c^2) (مثلاً إذا كان الامر يتعلق بجزيء حر يبث اشعاعاً فهو يساوي الحاصل : $h\nu/c^2$) .

فإذا تعلّق الأمر بنظام مؤلفٍ من كذا (n) جزيء يمكن بالتالي تحديد طاقة مجموعها Ω تطابق كتلة : $M_0 = \Omega/c^2$ من النظام الكامل .

إنّ مطلق نظام مستقرّ مؤلّف من جزيئات مترابطة ، النويّة مثلاً ، يتميّز بـ : $\Sigma_n(m_0)_n - M_0 > 0$ أو $M_0 > \Sigma_n(m_0)_n$. وبما أنّ كتلة النويّة (النكليون) الساكنة هي أصغر من مجموع الكتل التي تكوّنها ، يجب أن نعطي هذه النويّة طاقة إيجابية كي نحلّلها إلى عناصرها . بالمقابل ، إنّ نظاماً غير مستقرّ من الجزيئات المترابطة (نويّة غير ساكنة) يكون فيه فارق الكتلة سلبياً : $\Delta m = \Sigma_n (m_0)_n - M_0 < 0$ أو $M_0 > \Sigma_n (m_0)_n$. بما أنّ كتلة النويّة غير الساكنة هي أكبر من كتلة مكوناتها ، يمكن لها أن تتحلّل إلى عناصرها محرّرة الطاقة .

وهكذا يمكن ، عن طريق تأملات أولية في الديناميك النسْبَوي ، اكتشاف نقصان الكتلة (Δm) الذي من شأنه اطلاق طاقات ضخمة : $\Delta E = c^2m$. ذلك هو مبدأ انتاج الطاقة الذرية . نذكر ان أنظمة الجزيئات الحرة تؤدي أيضاً إلى : $\Delta m = \Sigma_n (m_0)_n - M_0 < 0$ أو $M_0 > \Sigma_n (m_0)_n$. وهكذا يمكننا بالتالي ، انطلاقاً من اشعاع طاقة مقداره $\Delta E = h\nu$ ، الحصول على ازواج : الكترون سلبي ـ الكترون ايجابي ذات الطاقة الشاملة $(2m_0c^2)$ ، وبالعكس ، يمكن أن نلاحظ الغاء للازواج مع حصول اشعاع . ان هذه الظاهرات في استحداث المادة وإزالتها ، يلحظ وجودها في تفاعلية الطاقة الكبرى ، خاصة في الاشعاع الكوني (أنظر الفصل 10 من هذا القسم) .

3 ـ **مدى النسبية الضيقة وتطبيقاتها :**

تتجاوز التطبيقات العملية للنسبية الضيقة بكثير من التجارب الهادفة مباشرة إلى التثبت من صلاحية اسسها . ان النسبية الضيقة هي فعلاً حركية تتدخل نتائجها ، كنتائج الميكانيك الكلاسيكي ، في غالبية الظاهرات والنظريات التي لها علاقة بها . ان خلاصات قسم واسع من الفيزياء الكلاسيكية أو الكنتية (الكمّية) ، تشكل في الواقع ، اثباتات غير مباشرة للنسبية الضيقة .

في الوقت الحاضر ، يتوجب ان تكون كل نظرية فيزيائية « نسبوية » ، ان هي استخدمت الانتشارات السريعة والطاقات الكبرى .

نذكر ، كمثل ، النظرية الكنتية والنسبوية المتعلقة بالالكترون ، والتي وضعها ديراك Dirac سنة 1929 . ان تطبيق شكلانية نسبوية يؤدي إلى التنبؤ بعزم مغنطيسي خاص (سبين Spin = دوامة) في الالكترون . في السابق ، وعلى المستوى الكلاسيكي ، كان يمكن لمثل هذه الشكلانية أن تؤدي إلى التنبؤ بتيار انتقالي . في نظرية الالكترون ، توجب هذه الشكلانية تحديد « سبين » تكون سماتها مثبتة بالعديد من التجارب حول توزيع ازخام الأطياف ذات البنيات الدقيقة . ان اثباتات نظرية ديراك Dirac وبوجه أعم ، ان اثباتات الكهرديناميك الكنتي النسبوي ، تمثل إذاً اثباتات غير مباشرة للنسبية الضيقة .

وبالاقتصار على التحقيقات الاكثر قرباً وآنية ، من الممكن التوجه إلى ثلاثة انماط من الظاهرات . تباطؤ الرقاصات ، تغير الكتلة مع تغير السرعة ، التكافؤ بين الكتلة والطاقة .

تباطؤ الرقاصات ـ الحياة المتوسطة للميزون [الميزون Méson : دقيقة مكهربة ذات كتلة وسط بين الالكترون والبروتون] ـ تتيح مقارنة رقاصات نظام خاص (زمن $\Delta\tau$) ونظام لورنتزي مطلق (زمن Δt لنفس الحدث) توقع تباطؤ نسبوي خاص للمدد :

$$\Delta t = \Delta\tau/\sqrt{1-\beta^2} > \Delta\tau.$$

ان مبادىء الحركية النسبوية ، إذا طبقت على انتشار موجة مسطحة وحيدة اللون ، تؤدي إلى :

1 ـ تغيير تواتر (تردّد) الاشعاع الصادر عن منبع ما ، إذا وجدت مطلق حركة نسبية بين المصدر والراصد : انه الاثر المسمى مفعول دوبلر Doppler ؛ $v = v_0\sqrt{1-\beta^2}/(1-\beta\cos\theta)$

2 ـ تغيير في اتجاه الانتشار : انها ظاهرة الزّيغ .

ان هذا المفعول أو ذاك يتضمن مُقدَماً كلاسيكياً (حدود ذات β) ومُقدماً نسبوياً خاصاً (حدود ذات β^2) يعزى إلى تباطؤ الرقاصات .

هذا الحد من المرتبة الثانية ، المغشى عادة بالمفعول الكلاسيكي من المرتبة الأولى ، قد ثبت بالتجارب التي قام بها ايف Ives وستيلول Stillwell (1941) ، تجارب مقنعة بمقدار ما يسعى القائمون بها إلى اكتشاف المُقَدَمات من المرتبة الثانية المطابقة لقانون غير نسبوي .

ان هذه التجارب تعطي مكاناً لمفاعيل دوبلر Doppler التي يحدثها الاشعاع الصادر عن الحزمات الوحيدة الحركة من الهيدروجين المؤيّن [المكثف الشحنة الكهربائية] . ان السرعات المستخدمة هي من مرتبة : $\beta \neq 0.007$.

ان الميزونات (μ) المكتشفة في الاشعاع الكوني تتفتت بعد حياة وسط (τ) ، ويمكن قياس هذه الحياة سنداً لكليشهات متوفرة بفضل غرفة ويسلون Wilson أو بواسطة عدادات ، ويتعلق الامر عندها بحياة وسط τ_0 في حالة سكون : توقف الميزون عند أول الكترون لها ناتج عن التفكك . هذه الحياة الوسط (قبل التفكك) ، تتوافق ، في الفضاء الاعلى ، مع « مسار حر وسط » : $L = c\tau_0 = 600$ m, في حين تكون الميزون متحركة بسرعة قريبة من سرعة الضوء .

والحال ان المسارات الحرة الوسط المقاسة في الفضاء الاعلى تتوافق لعدة كيلومترات ، أي بخلال حياة وسط τ أعلى بكثير . وهكذا نحقق التوقعات النسبوية : $\tau = \tau_0/\sqrt{1-\beta^2} > \tau_0$، في سرعات من أمثال $\beta = 0{,}99$.

مدارات الجزيئات في حقل كهرمغناطيسي ـ ان مطلق جزيء مشحون متحرك في حقل كهربائي وفي حقل مغناطيسي متعامدين فيما بينهما ومتعامدين على خط تنقل هذا الجزيء ، يصاب بالانحراف . واذا كان الامر يتعلق بجزيئات متماثلة (نفس العلاقة e/m بين الشحنة والكتلة) تتحرك بسرعات مختلفة ، نلاحظ ، سنداً لقوانين الكهرديناميك الكلاسيكي ، توزيعاً لنقاط وطأة هذه الجزيئات وفقاً لخط بارابولي [قطع مكافيء] . وبالمقابل ، وسنداً للميكانيك النسبوي ، تتوزع هذه الجزيئات وفقاً لمنحنى من الدرجة الرابعة .

ان هذه التجربة ـ التي حققها غويه (Guye) ولافانشي (Lavanchy) (1916) ، ثم أكملها ناكن Nacken (1935) ـ قد أثبتت توقعات الديناميك النسبوي .

وقد أبرزت هذه النتيجة بفضل طرق تَسْريع الجزيئات الثقيلة (بروتون ، دوتون (أوالدو تيرون) ، وجزيئات الفا α) ، بواسطة حقل مغناطيسي . وفي « السيكلوترون » (cyclotron) ، يعطي الحقل المغناطيسي المسَرِّع المتعامد على السرعات ، لهذه الجزيئات مداراً دائرياً . واذا لم تتزايد الكميات بتزايد السرعة ، فإن التواتر $v = \omega/2\pi = eH/2\pi m_0 c$ يكون ثابتاً والشعاع (r) في الدائرة المرسومة هكذا ($r = N/\omega$) يزداد مع تزايد السرعة ، أي عند كل دفعة جديدة في الحقل المسَرِّع . تجاه السرعات المرتفعة المحققة هكذا تزداد الكتلة ($m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$) وبالتالي يتناقص التواتر . وينتج عن ذلك أثر كابح تمكن ازالته ، بدوزنة الحقل المسرّع (الحاث) على حركة الجزيء المحثوث . ويتغير في السنكروترون زخم الحقل بشكل يمكنه من التعاظم عندما تتزايد الكتلة (m) . وفي المدوزن الدائري للالكترونات (synchrocyclotrons) ، بالعكس ، يكون تواتر الحقل المسرِّع هو المدوزن من أجل انقاصه عندما تتزايد الكتلة (m) (انظر الفصل 10) .

القوانين النسبوية في الصدمة المطاطية ـ نستحصل على قوانين الصدمة المطاطية بين الجزيئات سنداً للبيانات الطاقوية الموضوعة قبل الصدمة وبعدها . وسنداً للميكانيك الكلاسيكي يحدث الاصطدام المطاطي بين جزيء نازل وجزيء من نفس الكتلة ، كان في الاصل في حالة

السكون ، مدارات تشكل فيما بينها زاوية قائمة . وبالعكس ينص الديناميك النسبـوي على مقاطـع ذات زاوية حادة .

والتوقعات كانت منسجمة تماماً ومتوافقة مع التجربة . مثلاً ان اصـطدام الكترون نـازل ($\beta =$ 0,968) بـالكترون سـاكن يعـطي ، في غـرفـة ويـلسون زاويـة ذات انـفـراج قـدره 60 درجـة (ف . جوليوت) . وضمن نفس الشروط ، تؤدي سرعة نازلة ، بحيث تكون ($\beta = 0{,}93$) إلى تكوين زاوية ذات انفراج قدره 72 درجة (ل . لوبرنس ـ رنغيه Leprince-Ringuet) . وتم الحصول على نتائـج مماثلة بفضل الصدامات بين ميزونات ذات طاقة كبرى .

وهناك حالة خاصة تتناول الصدمة النسبوية وتتعلق بالتلاحم بين فوتون ذي طاقة $h\nu$ والكترون ذي كتلة m_0 ، كان في الأصل جامداً : ان تواتر الفـوتون المبثـوث بعد الصـدمة ، يتغيـر عندئـذ ، ويرتبط بزاوية البث . ويساوي تغيـره طول مـوجة كـونتون Compton ($\Delta\lambda = h/m_0c$) اذا كـان البث يتم وفقاً لزاوية قائمة . وهنا أيضاً تتوافق النتائج التجريبية تماماً مع توقعات النسبية الضيقة .

التكافؤ بين الكتلة والطاقة ـ يشكل تحرير الطاقة المنصوص عليه في بيانات التفـاعل النـووية البرهان الابرز للدلالة على النسبية الضيقة .

في حالة الانـظمة المستقـرة($\Delta m = \Sigma_n (m_0)_n - M_0 < 0$)سريعـاً ما اكتشفت عيـوب الكتلة الموافقة للابنية النووية التي تكون فيها طاقة الاتصال مرتفعة جداً بين النويّات (النكليونات) .

نذكر مثلاً حـالـة بسيطة هي حـالة الـدوتيرون $^{2}_{1}D$ أو نـواة الهيدروجين الثقيـل التي تساوي كتلتها : ($m_0 = 2{,}01417$) وذلك في النظام الذي يكون فيه $O = 16$. هذه النواة تتـألف من بروتـون ($m_p = 1{,}00757$) ، ومن نيوترون ($m_n = 1{,}00893$) . أما نقص الكتلة النظري فيـاوي :

$(1{,}00757 + 1{,}00893) - 2{,}01417 = 0{,}00233$ وحدات كتلة $= 0{,}0387.10^{-25}$ غ

وهو متفق تماماً مع النتـائج التجـريبية المحصـول عليها بفضـل المطيـافية الكتليـة [المطيـافية هي التحليل الطيفي باستخدام آلة المطياف] .

وفي حـالة الانـظمة غيـر المستقرة المحصـول عليهـا بعـد قـذف بعض النُـوى ببـروتـونـات وبنيوترونات سريعـة ، نلاحظ عنـدها تفككـاً يمكن أن يقترن بتصـاعد ضخم في الـطاقة . وانتـاج وتطبيقات هـذه الطاقة الذرية المشهورة جـداً في أكثر الاحيـان ، هما اللذان سـاهما في تـوضيح الاصلاح الكبير سنة 1905 أمام أعين الجماهير .

II ـ النسبية العامة

دونما تأجيج لهذه المفارقة ، يمكن الـزعم بأن النسبيـة الضيقة ليست نـظرية فيـزيائيـة . من ناحية انها ليست نظرية تتناول أية ظاهرة خاصة ، ولا هي تقتصر على أن تكون رؤية معينة ، ولكنها تشكل بصورة أساسية حركية ما . انها تشكّل بالتالي أساس النـظريات الفيـزيائيـة التي سوف تكـون حتماً « نسبوية » ولكنها تحتفظ بمجالها التفسيري الخاص .

وبالعكس تظهر النسبية العامة دائماً بمظهر مزدوج . فهي من جهة تشكل امتداداً طبيعياً لمبدأ

النسبية الضيقة بحيث تشمل الانظمة المسرَّعة . ومن جهة أخرى انها تقدم نفسها كنظرية جذرية في حقل الجذب الكوني . من حيث المبدأ يبدو هذان الدوران متباعدين تماماً . أما الرابط الذي يربط بينهما فهو مبدأ التكافؤ .

1 ـ مبدأ النسبية العامة :

حد مبدأ النسبية الضيقة ـ يعبر مبدأ النسبيـة الضيقة عن نفسـه ، بالتغيـر المزدوج في قـوانين الفيزياء داخل تحويل لورنتز . وهو يفترض استحالة اكتشاف الحـركة المستقيمـة والموحـدة الشكل في نظام اسنادي ، بواسطة مطلق تجربة .

وعلى كل ، من المؤكد ان هذا المبدأ في النسبية لا يشمل الانظمة المسرَّعة . ان حركة مثل هذه الانظمـة (الدوران ، الحـركات المتسـارعة بشكـل موحـد) يمكن دائماً ومن حيث المبـدأ اثباتها . ومن التجارب ذات الانماط المحققة بهذا الشأن ، هناك من جهة تجربة فوكولت Foucault في الميكـانيك ، وهنـاك من جهة أخـرى تدابيـر هارس Harress ، وسـاغناك Sagnac ، وبـوغـاني Poganny في البصريات .

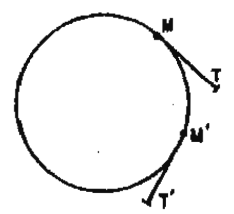
ان تجربة فوكولت حـول الرقـاص (راجع مجلد 2) تكشف عن دوران سـطح الأرجحة التي يحدثها رقاص عامودي ، وهذا الرقاص ينجـز دورة مقدارهـا 360 درجة بخـلال 24 ساعـة ، اذا كان الرقاص قد وضع عند القطب . وهكذا ، وفي حين يستحيل التثبت من حركة انتقال الارض بالنسبة إلى الأثير ، الا ان دورانها يمكن أن يكتشف بسهولة .

لقد كان ان التجارب التي قام بهـا هارس ، سـاغناك وبـوغاني ، تشكـل « النظيـر » البصري لتجربة فوكولت . ان نحن صففنا مرايا عند حوافي صحن ما ، فهنـاك حزمتـان من الضوء صـادرتان عن نفس المنبع ، ويفصل بينهما حاجز نصف شفاف ، ويمكنهما ان يجتازا باتجاه معاكس ، وعلى طول الصحن دربين بصريين متساويين ، وان نحن أدرنا الصحن ، نـلاحظ بفضل تـدابير التـداخل مزقاً في ازمنة الاجتياز أو القطع .

ومن أجل استكمال مسافات متسـاوية جيومتريـاً ، تمضي الحزمتان زمنين مختلفين ، وذلـك بحسب ما اذا كانتا تدوران باتجاه دوران الصحن أو بـالعكس . هذا الفـرق ، $\Delta t = 4\,\omega\,\phi/c^2$ حيث تمثل ω السرعـة الزاويـة ، و ϕ مساحـة الصحن ، و c سرعـة الضوء ، يكـون واحداً اذا كـان المنبع والمـدخـال ، أي اداة قيـاس التـداخـل ، محمـولين فـوق الصحن ، أو انهمـا بـالعكس مستقـلان (لانجفـان) . ولا يتغير هـذا الفرق اذا كـانت المسافـة المقطوعـة في الهـواء دائمـاً (سـاغنـاك ، 1914) ، او في المرشورات الزجاجية (هارس ، 1912) ، أو في انابيب مملؤة بالماء (بوغاني) .

تبدو هذه التجارب وكأنها تبعث امكانيـة تعريف الحـركات المـطلقة ، وبصـورة خاصـة يبدو دوران الأرض وكأنّه يستند إلى شكل فراغ ، يعيد من جديد إلى مفهوم الفضاء المطلق . ان النسبية الضيقة ، تبدو هنا فقط وكأنها تؤجل دخـولها إلى الفيـزياء ، وذلـك بالقـاء هذا الـدخول في مفهـوم الانظمة المسرَّعة .

قـوى الجمود ، وادخـال كون غيـر اقليدي ـ لقـد قدمت ، في دفعـات مختلفة ، نـظريات « تقريبية » حول الصحن الدائر ، وكانت هذه النظريات ترتكز على جيومترية منكوسكية (نسبـة إلى منكوسكي) . وهذه المحـاولات عملت على تبريـر النتائـج التي حصل عليهـا هارس ، وسـاغناك وبوغاني ، الذين شبهوا كل عنصر في الصحن ، بنظام السند اللورنتـزي ، الذي يتـطابق معه هـذا العنصـر بصورة آنيـة . ولكن هذه النـظريات « المحليـة » بدت عـاجزة مـع ذلك عن الـوصول إلى وصف دقيق للوضـع ـ مهمـا كـان قـريبـاً . إذ من الصعب فعـلاً جمـع هـذه الأوصـاف المتنـوّعـة (المحلية) الاقليدية المتعلقة بكـل عنصر في محيط الصحن ضمن وصف شـامل اقليـدي أيضاً ، من شـأنه وصف الصحن بـأكمله . كل شيء يجـري كما لـو ان كل وصـف محلي (عنـد M) كـان صالحاً في الفضاء المماس MT للصحن وهو فضاء اقليدي حقاً . ويتم هـذا الوصف أيضـاً عند M′ في فضاء آخر اقليدي مماس M′T′. وعلى كلٍ ، التماسك الشامل بين كل هذه التمثيلات الاقليدية المحلية لا يمكن ان يتأمن الا ضمن فضاء منحنٍ مماس لمختلف الفضـاءات المسطحـة MT وM′T′ الخ . (والواقع ، ان المسألة الحقة لا تقوم على ربط مختلف المتماسات بواسطة منحنٍ ، بل ربط فضاءات ـ أزمنة اقليدية متنوعة بواسطة فضاء زمن منحن) .



لقد بيّن اميل كـارتان Cartan بشكـل بسيط ان مفاعيـل قوة جـامدة ، يمكن دائمـاً ردها على البنية الجيومترية للفضاء ـ الزمن ، ويرتكز نص مبدأ الجمود على مفهوم الأنظمة الغاليلية المتعادلـة في القوة . وبتغيير معنى كلمة « متعادلة » ، من أجل تضمينها فكرة الحـركة المـوحدة الشكـل ذات السرعة $\vec{F}\,dt$ نصل إلى وجوب تـوسيع مفهـوم نظام الجمـود . عندهـا يطبق هـذا المفهوم بمعنـاه الجديد ، على الانظمة المتسارعة .

وعلى كلٍ يقتضي تغيير معنى كلمة تعادل تغيير الجيومتـرية . في هـذه الجيومتـرية المـوسعة يميز تعادل أو تكافؤ نظامي اسناد ، أيضاً أنـظمة جمـود جديـدة . ونقل هـذا التكافؤ أو التعـادل إلى الفضاء ـ الزمن المنكوسكي يظهر عندئذٍ « التسارعات » التي تخفيها جيومترية أكثر اتسـاعـاً . واذاً لا توجد حـواجز عـازلة بين الـديناميـك والجيومتـرية إذ إن هـذه الأخيرة يمكن أن تمتص الخصـائص العائدة إلى الميكانيك .

وهكذا ، يتيح ادخال عالم غير اقليدي توسيع مبدأ النسبية بحيث يشمل الانظمة المـسرّعة . كما انه يبرز السمة المحلية الخالصة لهذا التعادل أو التكافؤ بين الأنظمة المسرعة وأنظمة الجمود . وكل شيء يحدث كما لو ان أنظمة الجمود كانت مرتبطة بفضـاء غير إقليـدي (الذي تعـطينا الكـرة صورة مؤقتة عنه) وبالتسارعات في الفضاءات المماسة المتنوعة (سطوح ممـاسة الكـرة) . وتشبيه

قوى الجمود (التسارعات) ببنية جيومترية يعني الخلط بين قسم من الكرة وبين سطحها المماس . هـذا التعادل بين قـوى الجمود والبنيـات الجيومتـرية مقصـور على منطقـة صغيـرة مجـاورة للنقـطة المنظورة .

وهكذا بعد استيعاب مفهوم التسارع ضمن بنية جيومترية ، تعطي التمثيلات غير الاقليـدية ، الوسيلة لوضع مبدأ التعادل ـ أي مبدأ النسبية ـ بين الأنظمة المسرعة . وتتيح هـذه التمثيلات وضـع مبدأ النسبية العامة كما تتيح توضيح سمتها المحلية . وهي مع تبريرها لصيغة هذا المبدأ فانها تحدّد أيضاً حدوده .

2 ـ مبدأ التعادل أو التكافؤ :

القوى الحقيقية والقـوى الوهميـة ـ قال نيـوتن بوجـود فرق عميق بين القـوى الحقيقية التي تحدث آثاراً قابلة للقياس والقوى الوهمية التي تحدثهـا مثلاً الحـركات المسـرعة . وبـرأيه ان هـذه القوى الوهميـة (القوة الـطاردة ، وقوة كـوريوليس) تعـزى إلى اختيار نـظام الاسناد . في الفضـاء المطلق لا تبقى إذاً الا القوى الحقيقية .

هذه الاستنتاجات كانت تُناقش كثيراً في أواخر القرن التاسع عشر ، خاصة من قبل هرتز ومن قبل ماش (ماخ) . كان هذان الفيزيـائيان يعتقـدان ان كل نقـطة ماديـة لا ترسم مستقيمـاً ذا حركـة موحدة الشكل ، يمكن أن تكون ضحية اختيار خاطىء في نظام الاسناد ، ولكنها قـد تخضع أيضـاً لقوى حقيقية لم نعرف نحن كيف نكتشفها .

افترض هرتز (1894) ان الحركات الي تحدثها قوى الجمـود تعطي اتصـالات مع كتـل أخرى أي تغطي تقييدات خفية . وبتأثيرها تتحرك نقطة مادية وفق مبدأ الضغط الاقل : ان الحركة الفعليـة هي الحركة التي تختلف أقل اختلاف ممكن عن حركة مستقيمة وموحـدة . ان مبدأ الجمـود ، وهو حالة خاصة في مبـدأ الضغط الاقل ، يتـوافق بالتـالي ليس مع انعـدام القوى بـل مع انعـدام الكتل المخفية . وقد أثرت انتقادات مـاش بشكل ضخم في تفكير انشتين . عزا ماش سنة 1883 السمـة المميزة التي تتمتع بها أنظمة الجمود إلى تدخل كتـل بعيدة يصعب استبعـاد تأثيـرها بـل يستحيل . فافترض مثلاً ان كل أنظمة الاسناد تكون متكافئة وتشكل أنظمـة جمود لـو ان الأرض كانت وحـدها في الفضاء . ان دوران سطح أرجحة الرقاص ، رقاص فوكولت، لا يترجم إذن كدوران بـالنسبة إلى الفضاء المطلق ، بل هو يعبر عن التأثير الفعلي للكواكب البعيدة .

التكافؤ بين قوى الجمود وقوى التجاذب الكوني ـ ان قوى الجمود من شأنها ان تعطي جسم التجربة تسريعاً مستقلاً عن هذا الجسم التجريبي ($\gamma = \omega^2 r$ ، في الحركة الدائرية المـوحدة) . ان قوى الجذب الكوني تلعب نفس الدور اذا افتـرضنا ، كمـا تقضي بذلـك الخبرة ، وجـود تكافؤ بين الكتلة الوازنة والكتلة الجامدة .

وفي هذا الشأن تتدخل الكتلة الجامدة (مقاومة التسارع) بالقـانون الأسـاسي في الدينـاميك وهو : $F = m\gamma$. والكتلة الجاذبة M تظهر في الآثار الجذبية التي يرسمها قـانون نيـوتن وهو $F = -KMM'/r^2$.

اذا كانت النسبة بين الكتلتين ثابتة كونية $M/m = C$ ، مستقلة عن الجسم المدروس ، فإنّ قانون الجذب النيوتني ، يستعين فقط بالكتل الجامدة :

$F = -KC^2 mm'/r^2 = -Gmm'/r^2$ مع افتراض $G = KC^2$ ، والمقارنة مع القانون الأساسي تتيح التنبؤ بتسارعات الجذب $\gamma = -Gm'/r^2$ التي سوف تكون مستقلة تماماً ـ مثل مفاعيل الجمود ـ عن الكتلة m في جسم التجربة . والحال ان التماهي بين الكتلة الجاذبة والكتلة الجامدة (دائماً قابلة للاستخراج من $C = 1$ بفضل اختيار مناسب للوحدات) كان قد قال به نيوتن ، ولكنه يتركز على العديد من التحقيقات التجريبية .

أن التجربة الكلاسيكية « في انبوب نيوتن » تدل انه « في الفراغ ، كل الأجسام تقع بنفس السرعة » . وهذه التجارب قد استكملها بسل (Bessel) والتحقيقات التي قام بها يوتفوس (Eötvos) وزيمان ثم سوثرن Southern وزيمان بينت انه في درجة عالية من الدقة يمكن الخلط بين كتلة جاذبة وكتلة جامدة . ويمكن بالتالي تشبيه التسريعات التي تسببها قوى الجمود بالتسريعات التي تحدثها مفاعيل الجذب ، وهذه القوى بنوعيها مستقلة عن كتلة جسم التجربة . ذلك هو معنى مبدأ التكافؤ .

ضمن هذه الشروط يمكن القول بأن قوى الجذب كقوى الجمود يمكن أن تتغير ، وأحياناً تستبعد بفضل اختيار مناسب لنظام الاسناد .

لقد اقترح انشتين المثل الذي أصبح كلاسيكياً ، وهو مثل الطابة المتروكة وشأنها داخل مصعد حرّ السقوط ؛ بالنسبة إلى جوانب المصعد تكون الطابة جامدة أي انها تقف أو تثبت على مسافة واحدة من أرض المصعد . أما إذا تلقى المصعد من أعلى إلى أسفل تسريعاً يفوق التسريع الأرضي g ، فإن الطابة سوف تلتصق بسقف المصعد . وإذا كان التسارع أدنى من g فإن الطابة « تسقط » إلى أرض المصعد . وبقول آخر يمكننا إذا أحسنا اختيار المرجع المسرَّع ، دائماً تغيير ، وأحياناً الغاء ، مفاعيل حقل الجذب . والتجارب التي حققت فوق سطح الأقمار الصناعية جعلت هذه الاستنتاجات مألوفة بالنسبة إلينا .

ومن ذلك ، ان تجربة أجريت فوق سطح نظام مسرَّع لا يمكنها الكشف عن حركة هذا النظام . ويمكن دائماً افتراض ان هذا النظام جامد ثم عزو حركة جسم تجريبي ما إلى وجود حقل جذب محلّي مختار بشكل ملائم .

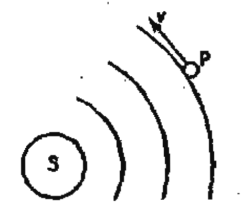
هذه الامكانية ، التي سببها التماثل بين الكتلة الجاذبة والكتلة الجامدة تمكننا من الاعلان عن مبدأ « التكافؤ المحلي » بين قوى الجذب وقوى الجمود ، أي بعد ادخال قوى جذب ملائمة : الاعلان عن مبدأ « التكافؤ المحلي بين الأنظمة المسرّعة » . وهذا المبدأ يتيح توسيع مبدأ النسبية .

3ـ النسبية العامة ، نظرية غير إقليدية في حقل الجذب :

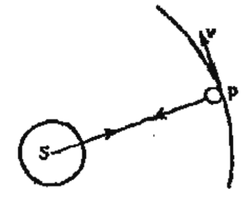
قوى الجذب وادخال عالم غير إقليدي ـ ان قوى الجمود تستطيع أن تُمتص محلياً بفعل

معطى قوامه عالم غير إقليدي . ومن جهة أخرى ، ان قوى الجذب تساوي محلياً قوى الجمود . وهناك قياس أكيد يتيح الاستنتاج بأن قوى الجذب هي أيضاً يمكن أن تذوب في بنية عالم غير إقليدي . ذلك هو التطور الذي نجح في ارشاد انشتين من مبدأ التكافؤ إلى النسبية العامة بصفتها نظرية غير إقليدية حول حقل الجذب .

في هذه النظرية لا يقوم مفعول الجسم النجاذب على خلق أعمال خصوصية من بعيد ، بل على إحناء الكون بقرب هذا الجسم . في هذا الكون المنحني الذي يخلقه الجسم الوازن ، لا يكون جسم التجربة خاضعاً لأية قوة ؛ انه « حرٌ » إذاً . ضمن هذه الشروط يرسم هذا الجسم المتحرك بحرية الخطوط « الأكثر استقامة » في هذا الكون ، انها الخطوط الجغرافية السطحية (الجيودوزية) لهذا الفضاء (دوائر كبرى في كرة مثلاً) . والقول بأن نقطة مادية تخضع لقوى جذب في فضاء إقليدي ، يعني التسليم بأن هذه المدارات غير الإقليدية هي الصورة السطحية لهذا الكون المنحني المخلوق بكتلة وازنة موجودة في جواره .



حسب إنشتين ، تتحرك الجزئية P بحرية في الفضاء المنحني بفعل الجسم المركزي S .



حسب نيوتن ، تكون الجزئية P خاضعة للقوى التي يحدثها الجسم المركزي S .

صورة 1 ـ حقل الجاذبية حسب نيوتن وحسب انشتين

دور مبدأ التكافؤ ـ هو المحور الذي يربط بين الحكمين التاليين :

أ ـ ان قوى الجمود يمكن أن تُمتص محلياً ببنيتين غير إقليديتين ، من هنا مبدأ النسبية العامة .

ب ـ ان قوى الجذب تنتمي بدورها ، إلى مثل هذه البنية ، ومن هنا نظرية غير إقليدية لظاهرات الجذب . ان التكافؤ بين الجمود والجذب يتحقق حتماً بشكل شبه دقيق . الا ان هذا الزعم يدخل في النطاق التجريبي لا في النطاق المنطقي .

إذا لاحظنا مثلاً ان الكتلة الجاذبة ، لا ترتد بكاملها إلى كتلة جامدة ، فإن قوى الجذب لا يمكن ان تماثل وتقارن بقوى الجمود ، وبالمعنى الحصري لا يمكن أن تمتصها البنيات الجيومترية . وعندها يتوجب تطوير نظريات إقليدية حول الجذب ، وهي نظريات نسبوية بالمعنى الضيق ، إذاً غير متغيرة في تحويل لورنتز .

ان نظرية من هذا النوع تشبه حرفياً النظرية الكهرمغناطيسية التي قال بها مكسويل . وبالفعل ان المماثلة بين قانون نيوتن وقانون كولومب تستمر في الشكلانية التي بعثها بواسون Poisson ،

وحتى في تفسير الحقول وفقاً لتعريفات النظريات الإقليدية .

وعلى كل في حين ان إعادة النسخ الجسيمية لنظرية مكسويل ترتبط بجزئية ذات سبين 1 [دوامة] (عزم حركي خاص متخذ كوحدة) هي الفوتون ، فان النظرية النسبوية للجذب تُعْنى بجزئية ذات سبين 2 هي الغرافيتون (الجذبون) ، ان هذه النظريات حول الجذبون قد شرحت وطورت بعد النسبية العامة بكثير (فيرز Fierz وبولي Pauli 1940 ؛ م . آ . تونيلات M. A. Tonnelat ، 1940 ؛ ج . بيركهوف ، 1944) ؛ لأن توسيع مبدأ النسبية هو المنحدر الأكثر بداهة الذي يمكن اتباعه بعد 1905 . وتطبيقه على الظاهرات الجذبية يبقى المسعى الأكثر إثارة للإهتمام ، والأكثر فناً جمالياً .

ومهما يكن من أمر ، ان مبدأ التكافؤ هو الذي يقود ظاهرات الجذب نحو تفسير غير إقليدي محتمل . وتدخل هذا الفضاء المنحني ، الضروري منطقياً من أجل تمثيل شامل للحركات المتسارعة ، يكون ممكناً ، عندما يتعلق الأمر بظاهرات الجذب ، وهذا ما دام مبدأ التكافؤ لا يفرض هذا الفضاء . وهكذا ، بعيداً عن السماح بعودة الجاذبية نحو نظرية مستحيلة إقليدية حول الجمود ، يكون مبدأ التكافؤ الدقيق هو الشرط الضروري والكافي للنسبية العامة كنظرية غير إقليدية لحقل الجاذبية .

4 ـ قانون الجذب الكوني عند انشتاين :

القانون النيوتني الجذبي ـ بخلال القرن 18 والقرن 19 عرف قانون نيوتن الجذبي نجاحاً شبه شامل وتطبيق هذا القانون على الميكانيك السماوي [أي على حركات الكواكب] يتيح بحسب رأي هـ . بوانكاريه اعتبار موضوع هذا العلم كاثبات ضخم لهذا القانون النيوتني . ان الاختلافات النادرة التجريبية التي أشير إليها في القرن 19 تتعلق بشكل خاص بحركة الكواكب الكبرى وبصورة خاصة بالكوكب عطارد .فهذا الكوكب في حركته حول الشمس يرسم اهليلجاً لا ينغلق تماماً على نفسه بسبب التأثيرات المخربة للكواكب الأخرى . ان نقطة السمت أي أقرب نقطة إلى الشمس ، في هذا المدار تعطي سبقاً زمنياً متراكماً لا تقدره هذه الجداول ("38 برأي لوفريه 1850 Le Verrier ؛ "42 برأي نيوكومب 1880) .

أما الاختلافات الأخرى (تقدم مقدار "8 في سمت المرّيخ ، تقدم « العقد ») فهي أقل تأكيداً . والاختلافات التي تكشفها حركة القمر يمكن عزوها لأسباب موزعة جداً ، وغير معروفة تماماً (حركات المد والجزر) ، وحده تقدم نقطة السمت في عطارد يبقى أعلى بكثير من أخطاء التجارب ، ويشكّل تحدياً أصغر ، إنما أكيد ، لقانون نيوتن حول الجاذبية .

وبالطبع ، يمكن عزو هذا الاختلاف إلى وجود ظاهرة إضافية ، خفيت على التجربة : حلقة من الكواكب الصغيرة ، داخل المدار العطاردي (لوفريه Le Verrier) ، عدم كروية الشمس ، الأضواء البروجية (سيليجر Seeliger) . وللأسف ان مثل هذه الخصائص لم تكتشف قطّ ، ولو وجدت لأحدثت اضطرابات مدمرة بالنسبة إلى توقع تحركات الكواكب الأخرى .

وإذاً فقد جرت محاولة تغيير قانون نيوتن بواسطة تصحيحات اختيرت بذكاء . ان التقدم

الملحوظ في نقطة السمت [أقرب نقطة في مدار كوكب ما إلى الشمس] يُعْرف باستبدال قانون الجذب من عيار $1/r^2$ بقانون من عيار $1/r^n$ (باعتبار $n \neq 2{,}000\,000\,16$) . ويمكن أيضاً تقدير حدود تصحيحية صغيرة (قانون هال Hall وقانون ديكومب Descombes وقانون لابلاس Laplace) ، ولكن هذه التغييرات تجر هي أيضاً مصاعب بالنسبة إلى التوقعات الأخرى .

وظهور النسبية الضيقة يطلب قانون جذب نسبوي بالمعنى الضيق ، مستبعداً بالتالي « التحريفات » البسيطة للشكلانية الأساسية .

قانون انشتين ، شرط بنية فضاء ريمان ـ ان التعبير الدقيق عن قانون انشتين ، لا يمكن ان يستنتج من المبادىء النوعية التي سبق وعبرنا عنها . الا ان شكلها يمكن أن يستلهم منها بشكل تقريبي .

ان قانون الجذب يعبر عن نفسه بشرط بنيوي يشكل نوعاً من التوازن بين ما تقدمه مصادر الحقل (طاقة ـ دفع مادي ، كهرمغناطيسية ، الخ) والمعطيات الجيومترية . وبالارتكاز على شكل قانون نيوتن ، يمكن ان نبين ان تقديم المصادر يجب تشبيهه بالدفع ـ الطاقة المتمثل بوَتَرَةٍ تناظرية من مكونات $T_{\mu\nu}$ $(T_{\mu\nu} = T_{\nu\mu}, \mu, \nu = 1,2,3,4)$. وتخلق المصادر انحناء فضاء ـ زمن يترجم ، بالنسبة الينا ، بوجود حقل جذبي . انه مزيج $S_{\mu\nu}$ من مكونات الانحناء (وبالتالي الحقول) الذي يوازن تقديم المصادر . ان قانون الجذب سوف يكون بالشكل التالي :

$$S_{\mu\nu} = \frac{8\,\pi G}{c^4}\,T_{\mu\nu}$$

ان العنصر ذا البنية التالية : $S_{\mu\nu}$ ينبني انطلاقاً من انحناء فضاء ريمان ، وهذا الانحناء يعبر عنه بشكل كامل بواسطة « المتري » $g_{\mu\nu}$:

$$S_{\mu\nu} \neq -\frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{c^2\,\partial t^2} = \frac{8\,\pi G}{c^4}\,T_{\mu\nu}$$

وهكذا ، إذا اخضعنا الانحناء المتقلص $S_{\mu\nu}$ (أو وَتَرَة انشتين) للتثبّت من الشرط السابق ، نحصل على قانون جذبي من شأنه أن ينقلب ، في تقريبٍ أولي ، إلى قانون جذب نيوتني . ضمن هذه الشروط ، يصبح الكامن الحيادي اللااتجاهي في الجذب النيوتني V ، في الواقع ، المكون g_{00} للمتري .

ان كتلة معينة (الشمس مثلاً) ذات الدفع الطاقوي البالغ $T_{\mu\nu}$، تحني أو تقعر الكون حولها . وينتج عن ذلك متري $g_{\mu\nu}$ ، يتيح احتساب انحناء $S_{\mu\nu}$. ان الشروط البنيوية تكمن بالضبط في الرابط بين هذا الانحناء ($S_{\mu\nu}$) والدفع الطاقوي للمصادر . وعلى الصعيد الظاهراتي ، تمثل هذه الظروف البنيوية بالطبع قانون جذب .

والآن إذا وجد جزئي تجريبي (كوكب مثلاً) في هذا الحقل ، فانه يتحرك « بحرية » داخل

الفضاء غير الإقليدي الذي تولده المصادر . ومساره يشكل مستقيم (أقصر خط) هذا الفضاء ، مستقيم يحدده المتري $g_{\mu\nu}$. ويتيح مُعْطى المصادر ، انطلاقاً من قانون الجذب ، احتساب كامنات الجذب $g_{\mu\nu}$. وهذه الكامنات ، اذا دخلت في تعبير المدارات ، أي في المستقيمات ، فانها تحدد تماماً مسارات الجزئيات . وانطلاقاً من المتري ، ومن شرط بنيوي فضائي تحدد إذن حركة الكواكب بدقة .

5 ـ التثبّت من قانون انشتين :

حقل الجذب الذي يخلقه جسم يمتلك التناظر الكروي ـ ان قانون انشتين الجذبي ينقلب ، بالنسبة إلى حقل جذبي صغير نوعاً ما ، إلى قانون نيوتني جذبي . ان كل التوقعات المستمدة من هذا القانون ، تشكل هي أيضاً عواقب لنظرية انشتين . ولهذا ، ومن أجل اعطاء هذه النظرية مضموناً ذا معنى ، يجب العمل على استخراج استنتاجات غير نيوتنية منه ثم التثبت منها بواسطة التجربة .

ويتخذ قانون انشتين الجذبي بصورة خاصة شكلاً بسيطاً ، عندما يمتلك الجسم الذي يخلق حقل الجذب التناظر الكروي . تلك هي بصورة تقريبية ، الحالة المتحققة في الطبيعة بواسطة الحقل الشمسي . ضمن هذه الشروط ، يمكن ان نفترض ، بصورة مسبقة ، وعن طريق الاعتبارات التناظرية ، لا التعبير الصحيح بل شكل الفرجة فضاء ـ زمن بين نقطتين متجاورتين . ويتخذ قانون الجذب شكلاً بسيطاً ، ويتيح تحديد المقياس المتري بصورة كاملة . ان البنية الجيومترية للفضاء الزمن تصبح عندها معروفة تماماً وكذلك الخطوط المستقيمة في هذا الفضاء الزمن ، لأنها تستخرج بصورة كاملة من المقياس المتري .

اذا خلق جسم يمتلك التناظر الكروي حقلاً له نفس التناظر ، فانه يحدد في جواره فضاءً زمنياً منحنياً يمكن تماماً تحديد بنيته انطلاقاً من سماتٍ في الجسم المركزي (كتلة ، سرعة أساسية) ، وهكذا يمكن ، بصورة مسبقة ، انطلاقاً من هذه المعطيات نفسها ، احتساب مستقيمات هذا الفضاء ، أي مدارات الكتل (الكواكب) التي يمكن أن تدخل فيه .

تقدم سمت عطارد ـ ان المعادلات التفاضلية لمدارات كل الكواكب هي معادلات مستقيمات فضاء ذي تناظر كروي . وتتيح دراستها التنبؤ ببعض الاختلالات ، مثل تقدم سمت (نقطة الرأس) عطارد . اذا كانت r, Θ, φ هي احداثيات [خطوط طول وخطوط عرض] قطبية في كوكب سابح في هذا الفضاء ، نتثبت من :

1 ـ ان حركة هذا الكوكب تتم في سطح ما (اذا كانت $\Theta = \pi/2$ في اللحظة الأولية الأماسية فهي تحتفظ دوماً بهذه القيمة) .

2 ـ ان تغير φ يتناسب وينسجم مع قانون المساحات .

3 ـ أن الشعاع الموجّه $r(r = 1/u)$ يثبت المعادلة التفاضلية :

$$\frac{d^2 u}{d\varphi^2} + u = \frac{Gm}{h^2} + 3\,\frac{Gmu^2}{c^2}$$

التي تختلف عن المعادلة الناتجة عن النظرية النيوتونية ، وذلك بإضافة الحد الأخير من الطرف الثاني . وهكذا تختلف المدارات النيوتونية عن المدارات التي ارتقبتها نظرية انشتين ، بعبارة أو بحد صغير يمثل تقدماً مقداره ω 8 في سمت الاهليلج . وهذا التقدم يزداد كلما كان الكوكب يمتلك قوة نازعة عن المركز أقوى ، أي منحرفة أكثر .

ذلك هو حال عطارد($a= 5,8 . 10^{12}$ ؛ $e = 0, 2056$ ؛ $T = 87,97$ يوماً) . ويؤدي الحساب إلى تقدم مزمن في السمت =42″ 9وهو يتطابق تماماً مع معطيات الرصد .

انحراف الأشعة الضوئية داخل حقل جذب ـ ان فرضية التناظر الكروي تتعلق فقط بشكل الجسم المركزي الذي يخلق الحقل .

والمستقيمات المتوقعة على هذا الشكل ، هي مستقلّة عن جسم التجريب الذي سوف يرسم هذه المستقيمات . ويمكن بصورة خاصة الافتراض ان الشعاع الضوئي سوف يرسم مثل هذه المستقيمات .

وعلى كل حال وبالنسبة إلى جسيمات ذات كتلة معدومة (مثل الفوتون) يتوجب ان يكون طول المستقيمات (الفضاء الزمني) معدوماً . وهذا الشرط (ds = 0) يحول معادلات المستقيمات التي ترسمها الأشعة الضوئية إلى العبارة التالية $\frac{d^2 u}{d \varphi^2} + u = 3 \frac{Gmu^2}{c^2}$، باعتبار ان المعادلات النيوتونية تكون عندئذٍ بدون طرف ثان . وحل هذه المعادلات يدل على ان المدارات الناتجة عن النسبية العامة تمثل ، في جوار الجسم الوازن وبالنسبة إلى الحل المستقيم للحالة النيوتونية ، انحرافاً يساوي $4Gm/c^2R$ ، باعتبار ان R يمثل المسافة الدنيا التي تفصل الجسم المركزي في المدار عن الفوتونات . وللتثبت من هذه النبوءة الجديدة تماماً والمتعلقة بانحراف بعض الاشعة الضوئية ، من الضروري النظر إلى الاشعة التي تمر بجوار حقل جذبي قوي نوعاً ما كالشمس مثلاً . ان هذه الاشعة صادرة عن كواكب تقع بالنسبة الينا بجوار الشمس ظاهرياً . ولهذا السبب لا تكون هذه النجوم قابلة للرصد إلا في أوقات الكسوف حيث يضعف لمعان الشمس مما يتيح تفحص جوارها الظاهر .

ضمن هذه الشروط يمكن ان نرصد انحراف الاشعة الضوئية المارة بقرب الشمس وبالتالي ان نرصد الانتقال الظاهر على الكرة السماوية ، لبعض الكواكب التي تبث هذه الاشعة . وينتج عن ذلك ان نجمة محجوبة بالشمس (وذلك ضمن فرضية الانتشار المستقيم للاشعة الآتية من هذا النجم) تصبح مرئية بسبب انحناء الاشعة الضوئية .

ان الانحرافات المرصودة اثناء كسوف 1919 تعود إلى مجموعة القلائص Hyades الواقعة يومئذ بقرب الشمس ظاهرياً . وكانت النتائج الحاصلة منسجمة مع النتائج التي تنبأت بها نظرية انشتين، رغم ان الانحرافات النظرية (″75 ″1= α)،كانت عند حدود اخطاء التجربة. وعثر ادنغتون فعلاً على انحراف يساوي ″50 0 ± ″69 1 . وهناك قياسات أخرى (كمبل Campbell وترمبلر Trumpler ، في الخرطوم سنة 1952) اعطت نتائج مماثلة .

ورغم وهن هذه القياسات كـان انحراف الأشعة الضوئية أول اثر جديد تتنبأ بـه نظريـة ترتكـز على تعديل شامل لكل معطياتنا الفضائية والزمنية .

وكان من الطبيعي ان تثير نتائج بعثة إدنغتـون ، وهذا الـدخول إلى كـوسمولـوجيا جـديدة ، مشـاعر « الجمعيـة الملكية » في هـذه الجلسة التي وقعت في 6 تشـرين الثـاني سـنة 1919 ، والتي دونها وايتهيد Whitehead في صفحة لا تخلو من جلال :

« كان الجو مشحوناً بانتباه زاخم يشبه جو الدراما اليونانية . وكنا نشكـل نحن الكورث الـذي يفسِّـر مراسيم المصيـر كما بـدت من خلال مجـرى الحدث الاعلى . كـان هناك قيمـة مـأسـاة في المـراسم التي يغلب فيها الـطابع المسـرحي والطابـع التقليدي ، وكـانت صـورة نيـوتن في خلفيـة المشهد لتذكرنا بأن أكثر التعميمات العملية اوشكت بعد أكثر من قرنين من الزمن ان تتلقى أول نيل منها . ولم تكن هناك أية مصلحة شخصية تلعب دورها . انها أكبر مغامرة فكـرية اوشكت ان تصـل لحسن الحظ إلى شاطىء الأمان » .

الميل نحو الاحمر في الخطوط الطيفية ضمن حقل جذبي . ـ ان ظاهرة الميل يمكن أن يعبر عنها بشكل عام جداً : « في حقل ذي سرعة ، أو حقل جذب ، يحصل تغير في التواتر الصادر عن ذرة محفوزة . ونشاهد عموماً تناقصاً في هذا التواتر أي انحرافاً نحو الاحمر » .

ان التغير ، الحادث بحركة نـسبية ، في تواتر خط ضوئي ذي تواتر أساسي ν_0 يشكل اثر دوبلر (Doppler) . والتـواتـر المسـتـقبـل $\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \beta^2}/(1 - \beta \cos \theta)$ يختلف عن التواتر الصادر . وهذا التغير هو تراكم اثر نسبوي خالص ، تأخر الـرقاصـات (حد β^2) مع اثر كلاسيكي (حد β). وبالنسبة إلى السرعات القطرية ($\Theta = \pi$) نحصل بصورة تقريبية خـالصة على : $\Delta\nu = (\nu - \nu_0)/\nu_0 \neq - \beta = - v/c$,

أي تناسبية الفارق مع السـرعة : $c\,\Delta\lambda/\lambda = v \qquad (\lambda = c/\nu)$

ومن جهة أخرى ، يدخل حقل الجذب ، هو أيضاً ، فارقاً معيناً . واذا كانت Ui و Uj تمثلان الكامنات النيوتنية عند النقطة Si و Sj ، حيث يتواجد المصدر والمراقب ، فـان تغير التـواتر يتـرجم بـ $\Delta\nu/\nu = (\nu - \nu_0)/\nu_0 = \left(\sqrt{(g_{00})_i}/\sqrt{(g_{00})_j}\right) - 1$ مـع $(g_{00})_i = 1 - 2U_i/c^2$; $(g_{00})_j = 1 - 2U_j/c^2$ سنداً لاستنتاجات النسبية العامة . عندهـا نفترض المصـدر والمراقب في حـالة سكـون نسبية . وبشكـل قريب جداً من هذا ، يُحدث حقل الجذب ، وبالطبع حقل تسريع مـوازٍ ، « ميلاً نحـو الاحمر » : $\Delta\nu/\nu \neq (1/c^2)(U_j - U_i)$.

المجال خارج المجرة ـ ان تفحصنا تواترات الاشعـاعات التـي تصـل الينا من المجمـوعات الخارجة عن مجرتنا ، فاننا نلاحظ دائماً ميلاً نحو الاحمر . وهذا الاحمر يتناسب مع المسافـة التي تفصلنا عن المجرة المرصودة (اثر هوبل Hubble) .

أبعاد $k\,D$ — $\Delta\nu/\nu = $ أي $V = HD = ck\,D = \Delta\lambda/\lambda$ عاان الثابتة H (ثابتة هوبل لها أبعاد عكس زمن ؛ ان HD لها إذاً سرعة V ، مما يحمل على تفسير أثر هوبل بعلاقة بين السرعة والمسافة ؛ ذلك هو هدف النظريات الكوسمولوجية (الكونية) . ويحدث تردد السدم (وهي عوالم في طريق الانتشار والتوسع) مفعول دوبلر الذي هو بالضبط مفعول هوبل .

مع هذه المبادىء يشبه مفعول هوبل بمفعول دوبلر من المرتبة الأولى : وهو يقوم على التقريب بين المعادلات المتوافقة . وتلعب حقول الجذب المحلية ، على هذا المستوى ، دوراً يمكن اهماله . ان ميل هوبل بأكمله يدخل في نطاق الحركية .

ان النظريات الكوسمولوجية قد نجحت بالتنبوء الصحيح بميل هوبل ومع ذلك فان هذه التحقيقات ليست حاسمة بسبب المعطيات التجريبية المبهمة التي تفترضها القياسات (الثقل النوعي الوسطي للمادة ، الخ) . والتبريرات النظرية تدخل من جهة اخرى مفاهيم المسافة ، وعمر الكون ، وهي مفاهيم يصعب إعادة تدوينها في السلم التجريبي . ولم يعد يوجد فعلاً ، في المجال الخارج عن المجرة تشبيه بسيط ، بين الفضاء المنحني والفضاء الاقليدي المماس ؛ فهذا التشبيه لم يكن صحيحاً الا على الصعيد المحلي (النظام الشمسي) .

مجال النظام الشمسي والكواكب القريبة ـ لقد تم انجاز قياسات مفيدة في مجال الميل فيما يتعلق بالذرات المثارة المرتجة حول الشمس أو حول الكواكب الثقيلة في مجرتنا .

ويحدث فعلاً بالنسبة إلى الخيوط التي تصدرها هذه الذرات ، ميول جذبية سببها الحقل الكثيف الذي تخضع له . الا ان الميول المحدثة بمفاعيل دوبلر الكلاسيكية ، أي بالحركات النسبية لهذه المصادر ، وللمراقب الارضي ، تتدخل هي أيضاً . ان هذه المفاعيل الطفيلية ضخمة للغاية ويجب استبعادها حسابياً من النتائج غير الصافية : وتشكل البقية الميل الجذبي الخالص الذي يمكن عندئذ مقارنته بالقيمة النظرية التي توقعتها نظرية انشتين .

في حالة الشمس تكون $U_i = GM_\odot/R_\odot$ باعتبار ان U_j مهملة ، ومنها نستنتج $\Delta\nu/\nu$ = $2{,}10.10^{-6}$ ثم قيمة نظرية $c\Delta\lambda/\lambda$ مساوية لـ 0,6 كلم/ثانية . ان القياسات التي قامت بها مس آدم Miss Adam سنة 1948 تتوافق تماماً مع هذا التوقع شرط الاقتصار على جوار حافة الشمس حيث تكون السرعات القطرية شبه معدومة ، وحيث تبقى مفاعيل دوبلر الطفيلية مهملة . فتعطي $c\Delta\lambda/\lambda$ =0,64 كلم /ثانية .

والقياسات التي أجريت على نجوم ذات ثقل نوعي عال تقدم هي أيضاً توافقاً مرضياً ، ان قياسات بوبير Popper على (40 Eri.B) سنة 1954 وقياسات كويبر Kuiper على سيريوس ب القزم الابيض الذي تعادل كتلته كتلة الشمس ولكن شعاعه يساوي 0,008 مرة شعاع الشمس ، هذه القياسات أدت بالنسبة للأول إلى قيم نظرية وتجريبية لـ $c\Delta\lambda/\lambda$ ، مساوية لـ (3 ± 17) كلم / ثانية و (4 ± 21) كلم/ثانية . وبالنسبة إلى الثاني أدّت القياسات المذكورة إلى قيم تعادل 79 كلم/ثانية ومن 60 الى 80 كلم/ثانية . إنّ ترتيب التعاظم يتوافق مع التنبّوءات النظرية ويتطلب التوضيح .

وهنا أهمية القياسات المحقّقة بواسطة مصادر أرضية خالصة .

قياسات الميل في المجال الأرضي . ـ ان استخدام معدات أرضية في تجارب الميل يتيح استبعاد أو مراقبة مفاعيل دوبلر الطفيلية . ويصبح من الممكن عندئذ قياس مفاعيل حقل جذب محلي على الميل ، قياساً دقيقاً .

ان مثل هذه القياسات لم تتحقق الا منذ عهد قريب (1959) وهي تتناول مفاعيل ضعيفة جداً يصعب اكتشافها بواسطة المصادر المتوفرة من قبل .

إذا كان المصدر Si على ارتفاع H والراصد S_j عند مستوى الأرض تكون كامنات الجذب العاملة معادلة لـ : $Uj = GM/R$ و $Ui = GM/(R + H)$ ، باعتبار ان M و R هما الكتلة وشعاع الارض . ويكون الميل الجذبي الخالص مساوياً لـ :

$$\Delta v/v = (GM/c^2)\,[(1/R) - (1/R + H)] \neq (GMH)/(c^2 R^2) = gH/c^2,$$

باعتبار ان $g = GM/R^2$ هي تسارع الجاذبية على الارض .

ويكون الميل الذي يجب قياسه ، بالمتر ، مساوياً : $\Delta v/v = 1{,}09 . 10^{-16}\,H$. ان تفاوتاً في الاتفاع يبلغ عشرة أمتار يعادل ميلاً ضعيفاً للغاية .

وللتثبت من الميول من هذه المرتبة ، يجب الاستعانة بمصادر مستقرة جداً (مكبر اشعاعي = مازر) أو مصادر دقيقة جداً (مثل خطوط الرنين التي يحدثها مفعول موسباور Mossbauer) .

المكبرات الاشعاعية أو المازر ـ اننا نعرف في الوقت الحاضر كيف نصنع ساعات ذات تواتر ثابت بشكل محسوس طيلة ساعة أو عدة ساعات .

من ذلك ساعات الكوارتز ($\Delta v/v = 10^{-9}$) بخلال 24 ساعة) ، والساعات الذرية من مادة الكاسيوم ($\Delta v/v = 10^{-11}$ بخلال 24 ساعة) ، والساعات الجزيئية الامونياكية ($\Delta v/v = 10^{-12}$) بخلال ساعة واحدة) (انظر الفصل التاسع) .

ان المازرات المستعملة تستخدم بالتالي تواترات ابصارية وبصورة خاصة التواترات اللاسلكية المستحدثة بفعل نقل الالكترونات من مستوى طاقوي Em الى مستوى طاقة أقل (راجع بهذا الموضوع الفصل التاسع) .

وبث اشعاع قيمته $\nu = (E_m - E_n)/h$ يقترن مع ذلك بتشتت $\Delta\,\nu/\nu$ لا يمكّن من اكتشاف الفروقات الجذبية مباشرة .

ان تحسين تقنية المازرات يمكن أن يحسن $\Delta\,\nu/\nu$ ، ولكن في هذا المجال من الصعب تفادي تأثير مفاعيل دوبلر الطفيلية بين الذرات المحفوزة ، وهي مفاعيل تعطي الخيط الضوئي تشتتاً حقيقياً ومهماً جداً مقداره $\delta\nu$.

وقد فكر البعض إما باستعمال مازرات في الأقمار الصناعية مما يزيد تفاوت الارتفاع H

وبالتالي يزيد في مفعول الجذب المتزن ، أو زيادة هذه المفاعيل بفضل المضخمات المكيّفة . ان المصاعب التقنية التي تعتري هذه الوسائل هي اكيدة ، ولكنها لا تستعصي على الحل .

مفعول موسباور (Mossbauer) ـ بدلاً من استعمال الاطياف الابصارية والتواترات اللاسلكية من أجل اكتشاف فارق جذبي ، يمكن الاستعانة باطياف البث والامتصاص المحدثة بأشعة غاما γ المبثوثة من قبل النوى المحفوزة .

وحتى سنة 1958 كانت هناك في هذا المجال صعوبة تشبه الصعوبة التي تظهر في الأنظمة الإبصارية ؛ إن العرض الطبيعي للخيط $\Gamma = h(\Delta\nu)_{I_0}$ مرتبط بالتشتت $\Delta\nu$. فيما يتعلق بزخم يعادل نصف الزخم الأقصى I_0 ، وهذا العرض يغطيه عرض حقيقي أكبر بكثير (بسبب مفاعيل دوبلر بين النوى المحفوزة) وهو ينزاح عن سلم الطاقات . هذا الانزياح يحدثه تراجع النواة ، فعندما تمتلك هذه طاقة الإثارة Eo فإنها تطلق فقط طاقة مقدارها $Eo - R$ ، والجزء R من الطاقة يستعمل من اجل التراجع . وكذلك عند الامتصاص يتوجب على النواة ان تكسب الطاقة $Eo + R$ وينتج عن ذلك نقص مقداره 2R بين البث والامتصاص ، وهذا النقص يمنع من حيث المبدأ كلّ ظاهرة بثّ أو امتصاص نتيجة رجع الاشعاع او ارتجاجه (في ظاهرة الرجع يجب أن تكون الطاقة الممتصّة مساوية تماماً للطاقة المبثوثة) .

في سنة 1958 بين ر . ل . موسباور ان مثل هذه الظاهرات الارجاعية يمكن أن تراقب بالنسبة إلى أشعة غامًا الصادرة أو الممتصّة من قبل شبكات بلورية محمولة نحو درجات منخفضة جداً (الأزوت السائل) . في هذه الحالة تلتصق النواة المثارة بالبلور بكامله ويتم كل شيء كما لو ان الطاقة المتراجعة كانت مشحونة في كل البلور .

وبفضل عملية الرجع أو الانعكاس ، يمكن استحداث أشعّة غامّا γ المتناهية الدقة واستخدامها لاكتشاف الزيغ الجذبي . وفي حالة تجارب موسباور التي تناولت الايريديوم 191 الحاصل من تحطيم β انطلاقاً من الاوسميوم ـ 191 ($\Gamma = 6.10^{-6}$ ev; E = 129 Kev; ev = الكترو فولت)

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{h\,\Delta\nu}{h\nu} = \frac{\Gamma}{E} = \frac{6.10^{-6}}{1{,}29.10^{5}} \simeq 10^{-11}$$

ويمكن الحصول على 10^{-15} وذلك باستعمال اشعاع غامّا γ ذي الرجع الصادر والممتصّ من قبل ^{67}Zn .

وتطبيق مفعول موسباور على قياس الاختلال الجذبي استمر في الولايات المتحدة ، وفي بريطانيا وفي الاتحاد السوفياتي .

والنتائج الاكثر اقناعاً قد تمت حتى الآن باستعمال مصدر ومراقب مفصولين بتفاوت في الارتفاع قدره 22 م تقريباً (ر . ف . بوند R. V. Pound وج . ب . ريبكا G. B. Rebka ، 1960) . ان الاختلال الجذبي النظري سوف يكون :

$\Delta\nu/\nu = -1{,}09.10^{-16} \times 22 \neq -5.10^{-15}$. إن الانحراف المقاس ، باستعمال الاشعاع غامّا γ الصادر عن منبع ^{57}Fe (متوفر من جراء تفكيك β انطلاقاً من ^{57}Co) على بعد 22 م واللاقط من ذات الطبيعة على الارض يكون بعد عشرة أيام من التجربة : $\Delta\nu/\nu = (-5{,}13 \pm 0{,}51).10^{-15}$. ان هذا القياس الدقيق جداً متوافق تماماً مع تنبؤات نظرية انشتين .

نضيف ان مفعول موسباور يمكن ان يطبق أيضاً على تقييم الانحرافات المحدثة بفعل حركة متسارعة ، مثلاً بدوران صحن . وهذا المفعول يستعمل إذاً كنوع من الرائز لمبدأ التعادل .

وأخيراً ، ليس من المستبعد قياس سرعة الضوء ، بهذا الاسلوب ، فوق مسار ذاهب بسيط ، في نظام اسناد متحرك . وهكذا يُعاد ، بطرق جديدة ، الى الاهتمامات القديمة حول هواء الاثير . وحتى الآن ، بالفعل ، كل قياس للسرعة الضوئية يتناول بالضرورة مسارا ذهاباً واياباً . وهكذا يمكن الظن بأن مبدأ النسبية الضيقة ، وان مبدأ التعادل اللذين يلعبان أدواراً متماثلة تماماً ، في حالة حركات موحدة وحركات مسرعة ، يمكن ، مرة أخرى ، التثبت منهما بتجارب جديدة .

وهكذا بصدورهما عن التجربة وانتهائهما إلى التجربة ، تشكل النسبية الضيقة والنسبية العامة ، اعظم مغامرة فكرية واكثرها إثماراً قامت بها الفيزياء عبر هذا القرن .

النظريات التوحيدية والنظريات غير الثنائية ـ ان انشتين وهو يبني النسبية العامة وضع الجذب على قاعدة جيومترية تعزله بعمق عن النظريات الفيزيائية الاخرى . ولكن ، في أغلب الاحيان ، ومنذ كبلر Kepler ، جرت محاولات تقريب نظريات الجذب من نظريات الضوء ، لان كلا من الظاهرتين ينتشر بشكل شبه آني . وتبدو قوانين نيوتن وكولومب وكأنها تكرس أيضاً ، بالنسبة إلى هاتين الظاهرتين صاحبتي المفاعيل من بعيد ، تفاعلية واحدة حسب $(1/r^2)$. ويردها قانون بواسون بآنٍ واحد إلى شكلانية عمل تماسي .

بعد 1917 ، جرت محاولة اخضاع الكهرمغناطيسية لعملية جيومترية كان انشتين قد طبقها بنجاح كبير على ظاهرات الجذب . ولكن للاسف ، ان القيود التي فرضت على احديداب فضاء ريمان اتاحت فقط تفسير آثار الجذب .

ولدمج الكهرمغناطيسية والجذب في اطار جيومتري مشترك كان لا بد من توسيع هذا الاطار الجيومتري . اما بتزويد فضاء ريمان بعدد أكبر من الابعاد : إذاً فقد تم بناء نظريات ريمانية خماسية وسداسية الابعاد ، باعتبار الابعاد الاستكمالية تساعد على تفسير حقل مكسويلي . واما بحفظ فضاء ذي أربعة أبعاد ، انما بعد تعقيد بنيته : وعندها نحصل على فضاء غير ريماني يشتمل على نوعين من الانحناء ، وعند اللزوم ، من البرم .

وتبقى هذه المحاولات المفيدة جداً ، مع الاسف ، شكلية نوعاً ما ، بمعنى انها لا يمكن ان تتنبأ بالمفاعيل الجديدة القادرة ، التي من شأنها ان تثبت أو تدحض مقدماتها . ولهذه المحاولات قيمة غير منكورة في التركيب ، ولكنها تطلب تطبيقات تجريبية فعلية لكي تصبح موضوع مناقشات مفيدة .

تحاول هذه النظريات « التوحيدية » الجمع بين الكهرمغناطيسية والجذب تحت لواء الهندسة (الجيومتريا) ويتوجب بعناية تمييز هذا التركيب بين النظريات « غير الثنائية » التي تبغي اجراء توحيد بين الحقل ومنابعه .

ان تاريخ العلاقة بين الحقل ومنابعه المادية هو بعيد كل البعد عن الوصول إلى خاتمة مرضية :

فغالباً ما اعتبر الحقل (حقل الجذب ، والحقل الكهرمغناطيسي) ، بطبيعته ، غريباً تماماً عن منابعه (الكترونات) . واذا عزونا إلى هذه الاخيرة دور القرائد النقطية ، فاننا نصطدم بمصاعب الطاقة الذاتية اللامتناهية . إذ تدخل هذه المصاعب أيضاً في أغلب النظريات الحالية ، سواء كانت كلاسيكية أم كنتية (كمية) .

تجاه هذه المصاعب ، قُبل منذ عهد لورنتز بالخيار التالي : ان للمنابع وللحقل طبيعة واحدة : فالمنابع الممتدة تمثل مناطق يكون فيها الحقل زاخماً بشكل خاص ؛ من الناحية النظرية ، انها تمتد حتى اللانهاية . هذه التصورات التي دعمها لورنتز ، وبسبيل مختلف تماماً ، كل من مي Mie وبورن Born وانفلد Infeld ، عاد اليها انشتين في محاولته التوحيدية الأخيرة التي ظهرت بالتالي كنظرية غير ثنائية .

والواقع ان انشتين كان دائماً مصدوماً بتفارق طرفي معادلات حقل الجذب . فالأول ، (« من الرخام النقي ») ، يمثل فعلاً تقديماً جيومترياً خالصاً ؛ والثاني (« مادي كثيف خام ») هو من أصل ظاهراتي . وفي سنة (1945) افترض انشتين أيضاً ان كل الحقول (وخاصة الحقل الكهرمغناطيسي والحقل الجذبي) وكذلك كل المساهمات المادية (الجزئيات على أنواعها) يجب ان تُمَثَّل بواسطة معطيات جيومترية .

ان قوانين الحقل ستكون شرطاً لهذه المعطيات . ويتوجب بالتالي أن نستخرج منها ، عن طريق التحليل الانتقادي ، مساهمة ما نسميه عادة جذباً وكهرمغناطيسية ، ومنابع طبيعية ؛ ويتوجب أيضاً أن يُتيح هذا القانون الوحيد ، العثور على خصائص (كتل ، شحنات ، تابذات (سبينات) ، غرابة) الجزئيات المختلفة التي تظهر أمامنا في تجارب الطاقة المرتفعة .

لا شك ان هذه المحاولة ليست إلا برنامجاً أو بالاحرى أملاً . وانه لمن الادعاء المغرور الظن ان الشرط في البنيات الجيومترية يعطينا في يوم من الايام جوهر قوانين تركيب المادة والطاقة . ومع ذلك فان آخر نظرية من نظريات انشتين كانت وصية روحية لا تخلو من جلال ومن ايمان بمستقبل الفيزياء النسبية .

الفصل الثالث

الميكانيك العام

تعتبر بداية القرن العشرين بالنسبة إلى الميكانيك منعطفاً صعباً[1] فحالة الكمال التي تحققت لـه ـ بفضل عمـل الجيومتـريين الكبار ، من لاغـرانج إلى جـاكوبي ، عمـل بدا وكـأنه يعطيه (أي للميكانيك) وجه علم مكتمل ، جدير بأن يتخذ كنموذج للفروع الأخرى من الفيزياء الرياضية ـ قـد اضطربت في أواخر القرن التاسع عشر من جراء المناقشات الحادة حول المبادىء ، منـاقشات كـان من شأنها زعزعة البناء بأكمله . لقد انقسم الميكانيكيون ، كما بينا ذلك في المجلد السابق ، حول اختيار المفاهيم الأولى ، بين مدرسة الكتلة ، ومدرسة القوة ، في حين ان علم الطاقة ، الذي رفض كلّ نموذج أو كـلّ فرضيـة جزيئيـة وعزل كـلّ تفسير ميكـانيكي يعتبر الخصـائص الفيزيـائية مجـرّد تركيبات من الصور والحركـات ، بسط على كامـل الفيزيـاء سلطاناً معـدياً . لقـد عزا انشتين ، في سيرته الذاتية العلمية ، إلى الانتقاد الحـاد للمبادىء النيـوتنية ، الـذي قام به إرنست ماخ ، فضـل زعزعة الاعتقاد الايماني بالميكانيك الكلاسيكي ، واعترف بأنـه وجد في هـذا الانتقاد الهـاماً . ان الثـورتين : ثورة 1905 (النسبيـة الضيقـة) وثـورة 1923 (الميكـانيـك التمـوجي) تجـاوزتـا كثيـراً المناقشات حول المبادىء الكلاسيكية ، حتى ان هذه بدت بسرعة وكأنها شجار عائلي ، في عـائلة متشبثة قليلاً بالدفـاع المستميت عن تركـة خاسـرة . والمسـألـة التي تطرح نفسهـا على المؤرخ هي معرفة ما إذا كان قد بقي من الميكانيـك ، على مستوانـا ، شيء آخر ، غيـر مادة تعليم نمـوذجية ، وإذا ما كان من الممكن القـول بوجـود نوع من المستقبـل لمجال علمي خـاضع لضغط التحـولات الالزامية .

بـوانكاريه والميكانيـك بحسـب مستوانـا ـ هناك مكـانة خـاصة ، كمـا هـو معلوم ، يحتلهـا بوانكاريه في مجال انتقاد التنظيم للميكانيك الكلاسيكي . لقد عرف هذا العالم الفرنسي ، أفضـل من أي عالم آخر ، كيف يكتشف التصدعات ، بل التناقضات في هذا البناء الفخم : عدم النظر إلا

---

(1) يدين هذا الفصل بالكثير لدراسة رنيه دوغـاس (توفي سنـة 1957) بعنوان « حـول تطوّر الميكـانيك على مستـوانا » المجلة الفلسفية ، تموز ـ أيلول 1956 .

إلى الحركات النسبية ، ثم تركيزها في فضاء مطلق ، واعتماد زمن مطلق لا يمكنه أن يكون الا مجرد اصطلاح ، وطرح مبادىء مثل مبدأ الجمود الذي لا يبرره أي برهان « مسبق » والذي لا يمكنه كذلك أن يعبر عن واقع تجريبي . وبمعزل عن انشتين ، توصل بوانكاريه إلى ترك مبدأ النسبية في الميكانيك الكلاسيكي ، لصالح « مسلمة نسبية » أكثر تجذراً وأكثر تعميماً بآنٍ واحد[1] . وقد أوضح هو بنفسه فلسفته الخاصة حول القوانين والمبادىء : إذا لم يكن لأيٍ من هذه الأسس ان يعتبر تحكمياً ، بسبب المنشأ التجريبي البعيد ، ورغم السمة الاصطلاحية التي يفرضها تبلر البناء العقلاني ، فان اياً منها لا يمكنه أيضاً ان يؤخذ على انه مقدس . ولكن بوانكاريه كان أكثر وعياً للتضحيات التي تقتضيها وجهة النظر الجديدة ، فلم تكن لديه جرأة الشباب التي توفرت لانشتين ، فاوضح صراحة ان الميكانيك الكلاسيكي ، يجب أن يبقى ميكانيك حياتنا العملية وتقنيتنا الارضية .

ان هذا التأكيد بدا بسيطاً حين يذكر مفهوم المستوى أو المقياس . ونتيجة حدود حواسنا ، تبدو الظاهرات الميكانيكية على مستوانا متلائمة بشكل طبيعي مع نظرية لا تركز على بنية المادة وتستعمل رياضيات المستمر ، والمتتابع ، والابعاد الوسطى في مجال توسع الظاهرات المعتبرة تحمل على الاعتقاد بأن فضيحة الوقت النسبي ، والمزدوج فضاء ـ وقت في تغييرات نظام الاسناد ، لها الحظ القليل في العثور على فرصة لتظهر .

وليس من المستبعد ، مع ذلك ، ان تستطيع نظريات من مستويات متنوعة ، تستعين بموديلات متنوعة ، معالجة نفس الظاهرات . ان ترقيعات عقيدة الأعاصير الديكارتية التي من شأنها توضيح المعطيات الكمية في الفيزياء الرياضية النيوتنية ، ومحاربة الميكانيك الضخم الدائر حول الأعمال من بعيد عبر الفضاءات الفارغة الكبيرة ، قد استمرت حتى نصف القرن الثامن عشر . في القرن التاسع عشر برزت نظرية المطاطية ، والنظرية الحركية في الغازات بصعوبة من خلال الفرضيات الجزيئية التي كانت في أصل نهضة البحث المثمرة . ولأسباب محددة وعلى مستوى معين ، يصعب ، على ما يبدو ، القرار ما إذا كانت وحدها نظرية من نفس المستوى تصلح وتلائم ، وتاريخ العلم لا يساعد أبداً على مثل هذا الحصر .

لا شك انه يجدر استقبال تأكيد بوانكاريه بفهم أعمق . من المعلوم ان اعادة النظر بالنسبية الكلاسيكية تقع فعلاً ضمن تغيير للسلم ، ويكون من العجيب ، ضمن هذه الشروط ، ان يكون الميكانيك الكلاسيكي بعد قرنين من النجاح قد قال كلمته النهائية في الظاهرات التي هي على مستوانا . يبقى مع ذلك ان نعرف ماهية هذا التأخير على وجه الدقة .

التطورات التي دخلت على الديناميك الكلاسيكي ـ ان التحليل الكلاسيكي الذي قام به لاغرانج ، قد لفت الانتباه إلى الصعوبة الأساسية : وهي صعوبة الربط الميكانيكي . وانه بهذا المعنى عرف عصرنا انجازات متقدمة وضخمة . وبفضل مفهوم « طاقة التسارع » ، وجد ب . ابيل Appell الوسيلة لمعالجة الروابط الكاملة الاسم أو غير الكاملة بنفس الاسلوب .

(1) انظر بهذا الصدد الفصل السابق .

في أطروحة كان موضوعها دراسة البوصلات التوجيهية (الجيرسكوبية) ادخل هـ . بيغين (H. Béghin) الروابط الاخضاعية ، المحققة في كل لحظة بفعل الإعمال الاوتوماتيكي للمصادر الاضافية الطاقوية ، والتي تختلف بصورة اساسية عن روابط التماس البسيط . في لغة النظرية الكلاسيكية تتطابق مع هذه الروابط الاخضاعية التي قد تكون تامة أو غير تامة ، قوى لا يكون عملها ملغياً بشكل عام عند التغيير المحتمل للنظام . ويعتاد الميكانيكيون على توثيق الروابط التي تعتبر في الاصل غير كاملة ، كما يعتادون على توسيع الشكلانية التقليدية في المجال الديناميكي . ان تناقص سعة التأرجحات الطبيعية قد يلقى في هذا المنظور تصويراً شكلياً عن طريق الربط ، هذا الربط الذي أوصى بتطبيقات عملية بفضل تقنيات الربط الحديثة المستغنية عن التماس .

ولكن على صعيد آخر استطاعت الشكلانية التقليدية في علم الديناميك ان تتسع اتساعاً جذرياً اكثر . لقد بيّن ايلي كارتان Cartan في كتابه « دروس حول اللامتغيرات المتكاملة » (1922) ، ان كلّ خصائص معادلات الديناميك ، في الأنظمة التامة الاسم تشتق من وجود شكل تفاضلي خارجي من درجة واحد ، وهذا الشكل لا يوجد إلا إذا كانت القوى المطبقة في النظام تتعلق بدالة القوى . وقد امكن حديثاً التحرر من هذا الشرط للوصول إلى صيغ ذات عمومية كبيرة . لقد اثبت ف . غاليسوت Gallissot ،سنة 1954 ،ان معادلات حركة نقطة مادية ، وهي معادلات لا تتغير في تحولات مجموعة غاليلي ، تتولد بفعل شكل تفاضلي خارجي من الدرجة اثنين ، شكل يتحدد حول تشكيلة V_7 ، وهي اشتقاق سطحي طوبولوجي من V_6 ، وفضاء مماس للفضاء الاقليدي ، وبالمستقيم العددي ، وهذا دون الحاجة إلى وجود دالة قوى . وبوجه اعم ، كل نظام ذي عدد n من درجات الحرية ، يتألّف من نقاط مادية ومن جوامد حرّة ، يتميّز بشكل تفاضلي خارجي ذي درجة اثنين ، محدّد على تشكيلة V_{2n+1}. في هذه الصياغة الجديدة للميكانيك ، هناك رابط يتميز من جهة بشبه تشكيلة رمزها V_{2n+1}، ومن جهة اخرى بمصادفة من شأنها تحقيق الارتباط وتعبر عن نفسها بحقل ربطي محدد في الفضاء المماس لـ V_{2n+1} . ان هذا الاسلوب في العمل يشمل بآنٍ واحد ، مع الروابط الكلاسيكية (التامة الاسم أو غير التامة) ، الإخضاعات كما يشمل روابط اخرى أعم ايضاً .

وعلى كل حال تستمر حالة الروابط التي من شأنها ان تنقطع ، في طرح مسائل دقيقة .

ان لعبة العلامات أو الإشارات المفروضة بصورة مسبقة على الروابط أو على التسارعات ، ليست فعلاً بالكافية دائماً (باستثناء حالة الروابط التامة الاسم أو غير التامة خطوطياً) من اجل تحديد الحركة اللاحقة في النظام بشكل موحد . وهكذا يمكن ان تحدث تناقضات أو مفارقات أو اشكالات ، ذكر حالتها ب . بانليفيه Painlevé سنة 1895 بمناسبة الاحتكاك بدون انزلاق ، وهذه الحالات ليست الا امثلة خاصة من جملة حالات اخرى . ان نظرية الصدمة مع الاحتكاك (داربو Darboux، ديلاسوس Delassus ، بيريس Pérès ، بيغين Béghin) قد اتاحت حلّ العديد من هذه الاشكالات (الصدمات التماسية) ، ولكن يبقى منها العدد الكافي الذي يحمل الميكانيكيين على الاستمرار في التساؤل حول اسس علمهم . لا شك انه قد ساد الاعتقاد بأن الحالات المستعصية

تمثل ظاهرات يبدو من المستحيل اهمال تشوهاتها المتناهية الصغر ، والتي لا تعيرها قوانين الارتباطات الكلاسيكية اي اهتمام . ويبقى انه يستحيل حتى الان ، حتى ولو كان هذا المنظور صحيحاً ، كيف يمكن لهذه القوانين بشكل من الأشكال ، ان تغير سلّمها مع بقائها متواضعة مع بنيّة خاصة متميزة .

وفيما كان تطور الديناميك الكلاسيكي يلاقي حداً بارزاً ، اخذت تظهر نجاحات لا يمكن اهمالها ، في دراسة الذبذبات ، وكانت هذه النجاحات مهمة جداً بالنسبة إلى التقنيات الاكثر تنوعاً . ان الربط بالمماثلة بين التأرجحات الكهربائية والميكانيكية ، وتطبيق طرق التقريب من اجل حل المعادلات التفاضلية غير الخطية قد أتاحا تقديم البرهان على ان التحليل الرياضي قد احتفظ بقدرة مخصبة بالنسبة إلى الميكانيك على مستوانا .

ميكانيك الأمكنة المستمرة ـ ان هذا التعبير يتخّذ منحى قديماً نوعاً ما ، ولكنه ما يزال يستعمل لما يتميز به من انه يغطي في نظر الجميع مجالاً واسعاً فيه كانت اعمال حقبتنا مهمة بشكل خاص . في الميكانيك حول الموائع ترك تراث الماضي اشياء كثيرة يجب عملها ، خاصة من اجل الوصول إلى المسألة الصعبة ، مسألة المقاومة . لاحظ بانليفي بان مفارقة دالمبير D'Alembert (المقاومة المعدومة بالنسبة إلى حاجز جامد في حالة انتقال مستقيم وموحد داخل مائع غير قابل للانضغاط وكامل وغير محدّد ، وفي حالة سكون حتّى اللانهارية) هي مفارقة انعكاسية . ان اية نظرية انعكاسية لا يمكن ان توضح المقاومة . والاثلام الناشئة التي قال بها كيرشهوف Kirchhoff وهلمهولتز Helmholtz واللذان قدما في القرن 19 نموذجاً ممكناً للتصريف ، قد افسحت في المجال امام عمل رياضي ضخم (ليفي ـ سفيتا ، فيلات Villat ، لافرانتيف Lavrentiev) دون امكانية التوصل إلى تفسير يزيد عن نصف المقاومات الملحوظة بصورة تدريجية . وفي الواقع ان هذه الاثلام تكون غير مستقرة في حال انعدام اللزوجة ، مع امكانية تحولها إلى مناطق مضطربة . ومن جهة اخرى يبقى هناك مجال ممكن للغموض فيما يتعلق بالنقطة التي ينفصل عندها العلم ، كما يوجد بالنسبة إلى بعض اشكال الجوانب عدد غير محدد من الاخاديد الممكنة . ثم انه عبر دمج الاضطراب بالنظرية قد امكن تحقيق تقدم جديد .

وقد اتاحت نظرية ن . آ . جوكوفسكي Joukovski وس . آ . تشابليغين Tchaplyguine (1906 - 1921) ، بفضل التدويم (الدوامة المرتبطة بالجانب) الحصول على تقريب لا بأس به فيما يتعلق بمقدرة جوانب الاجنحة على المقاومة في مجال الايروديناميك (تحريك الغازات) . ولكن هذه النظرية بذاتها أدّت ـ في حالة الجانب المستقيم المنحني أو المائل فوق تيار سائل افقي ـ إلى شبه مفارقة جديدة (سيزوتي Cisotti) لفتت الانتباه إلى الاحترام الواجب اتخاذه عند الانتقال إلى الحد الاقصى ، انتقال تقتضيه تصورات الجناح الرقيق .

ان نظرية جوكوفسكي ـ وهي تستخدم التقنية الرياضية لدالآت المتغير المعقد ـ لا تطبق الا على حركات سطحية . وبالانطلاق من صيغ بوانكاريه التي تعرف السرعات انطلاقاً من دوامات ، مع معالجة سطح الحاجز الجامد باعتباره طبقة من الدوامات ، وباعتبار هذا الحاجز بالذات كنواة سائلة ذات ضغط ثابت ، استطاع م . روا Roy ان يعمم سنة 1925 قاعدة جوكوفسكي بالنسبة الى

الحواجز الصلبة المتحركة بحركة لولبية موحدة داخل تيار غير محدد وثابت ، لمائع غير قابل للانضغاط وكامل .

وايضاً وبعد نقل المشكلة الى الابعاد الثلاثة ، استطاع براندتل Prandtl سنة 1918 ، مستعيداً تصور لنشستر (1909) ، وبعد اعتماد تصميم محدّد بالنسبة إلى طبقة الدوامات الحرة المنطلقة من جانب مهرب طرف الجناح ذي الفتحة المتناهية ، ان يضع نظرية (الجناح الحامل) حيث تدخل ، الى جانب (الحمل) الشبيه بحمل جوكوفسكي ، مقاومة سببها وجود سرعات تحدثها الدوامات الحرة . وبعد 1903 ، وفي نظام فكري مختلف ابتكر نفس المؤلف نظرية فتحت المجال أمام بحوث عديدة ، وتجلّت خصوبتها : ان المائع الطبيعي ، الضعيف اللزوجة ، يتصرف ، بشكل محسوس وكأنه سائل كامل ضعيف المسافة بالنسبة إلى حاجز يلتف هذا السائل حوله ، في حين انه في طبقة رقيقة جداً تحيط بالحاجز ، وتسمّى الطبقة الحد ، تتجاذب جهود تماسية مهمة ، مع تبديد للطاقة وتشكيل للدوامات أو الأعاصير . وهكذا يفسر تشكل مقاومة الاحتكاك ، في حين يتوقف السائل الكامل فلا يعود يعتبر افتراضاً أو وهمياً إلاّ بمجاورة مباشرة للحاجز . وتشمل هذه النظرية الموائع القابلة للضغط . وداخل الطبقة الحد بالذات يمكن ان تكون الحركة رقائقية انزلاقية أو دواماتية .

تلك هي ، بصورة مختصرة ، بعض الامثلة الدقيقة التي كان من الضروري اللجوء اليها للهرب من مفارقة دالمبير (D'Alembert) ، انما دون النجاح الكامل في ذلك . عدّد ج . بيركهوف (G. Birkhoff) (1950) ما يقارب من خمس عشرة مفارقة جديدة ظهرت في مجال ميكانيك الموائع مع المعالجة العقلانية للزوجة .

وكون ميكانيك الموائع قد لقي الكثير من المصاعب ، ومن البعد جزئياً عن الحس السليم ، والمنطق أو التجربة ، لا يطعن ابداً ببنيته الرياضية ؛ ونرى هنا ، وبصورة افضل مما هو في حالة مفارقات الديناميك العام ، ان الاختصارات المتتالية التي يجب ان تمر بها كل محاولة تنظيم علمي ، تشكل صعوبة هائلة . فالجمع ثم المزاوجة ، بأن واحد ، بين الانضغاطية ، واللزوجة ، والتوصيلية ، والتدوم [حدوث الدوامات] ، ومع هذا التدوم الظروف التي تساعد عليه مثل خشونة الجوانب الصلبة ، يجب ان يكونا بالتأكيد موضوع برنامج نظرية حول الموائع الحقيقية .

ولا يمكن الارتقاء إلى مثل هذا التعقيد الا بالتدرّج ، وباستعمال الوسائل الرياضية الاكثر فاكثر اتقاناً . ومع ادخال التدوم مثلاً ، تصبح الوسيطات التحريكية المائعية كالضغط ، والثقل النوعي ، ودرجة الحرارة والسرعات متغيرات احتمالية (آ . ن . كولموغوروف) .

وبناء لمتطلبات التقدم في مجال الطيران ، توجب تطوير الدراسة المنهجية لحركات الموائع القابلة للضغط وانتشار الانقطاعات تحت شكل موجات تسارع أو صدام ، قام بتحليلها كل من ريمان Riemann ، ورانكين (Rankine) وهوغونيوت (Hugoniot) . وتوجب الاهتمام اكثر بالتحرك الحراري (ترموديناميك) ، بسبب الانقطاعات المقترنة بالحالة الكيميائية ، وبصورة

خاصة بالتفاعلات الانفجارية التي قد يكون مركزها الوسط الذي مسته الموجة (شابمان Chapman فياي Vieille ، دوهم Duhem ، جوغيه Jouguet وكروسار Crussard) .

ولكن مهما كان الكمال المستمر في الجهاز الرياضي المستعمل ، والذي هو من مميزات التوصل إلى مفاهيم فيزيائية كانت حتى ذلك الحين غير واضحة ، فقد أوجدت التقنية الحديثة مشاكل بلغت تعقيداتها ـ فقط من جراء شروطها القصوى ـ حداً جعل تحليلها النظري غير مفهوم ، بحيث توجبت بالضرورة العودة بشأنها إلى التجريب . من هنا نشأت عدة « معاهد » لميكانيك الموائع ، حيث يتزواج ، في كلّ البلدان ، البحث النظري مع دراسة « النماذج » في أحواض الأخاديد ، والانفاق الانسيابية المتحركة ، على تصاميم أعمال مائية (هيدروليكية) ، أو بواسطة المماثلات الكهربائية .

ويكون من الخطأ الظن بان هذه العمليات تتم بدون صعوبات اخرى غير الصعوبات التقنية . ان مقارنة نظامين « متشابهين » فيما بينهما ، تثير فعلاً مسألة يدخل فيها مفهوم « ضخامة » الكميات الفيزيائية دخولاً محتوماً .

على أثر قاعدة وضعها فاشي Vaschy سنة 1892 ، اصبح التحليل البعدي نظرية دقيقة تتحكم بالتطبيقات التناظرية . فضلاً عن ذلك لا يتحقق عملياً الا تناظر جزئي . مثاله في نماذج الانهار ، والقنوات ، والمرافىء تكون مفاعيل اللزوجة اعلى من المعتاد ، والتدويم يكون من جراء ذلك اقل ، ولذا يتوجب استحداثه صناعياً . .

ومن الملاحظ اكثر انه رغم مجمل هذه الصعوبات ، تظل البحوث النظرية تتوسع وتسجل نجاحات ، منها اعمال بيريس Pérès حول الضغوطات التي يُحدثها خبط الموج فوق مكْبِر ، والتي هي مثل من امثلة كثيرة .

وعاشت المطاطية ، وهي فرع آخر من ميكانيك الامكنة المستمرة ، طويلاً على ارث القرن التاسع عشر ، حتى ولو جاءت التقنيات العملياتية للرياضيات الحديثة (الحساب الموتّري) ، ولحسن الحظ ، لتغيّر وتخفف من حدّة هذه المطاطية . إن الحاجة إلى مواجهة الأنظمة ، حيث لا تكون الحرارة موحدة ، وحيث المسائل التي يتدخل فيها السلوك الحراري للمكان أقامت علاقاتٍ وثيقة مع الترموديناميك (علم الحرارة المتحركة) ، حوّلت وجهة النظر الطاقوية إلى مطاطية . لقد أخِذَ بوجهة النظر هذه ، حتى في حالة المطاطية الثابتة الحرارة ، كما يثبت ذلك عمل تيموشنكو Timoshenko ليحلّ عن طريق التقريبات المتتالية العديد من المسائل المحددة ، التي تستعصي على الحلول التحليلية البسيطة . وأخيراً اتاحت التطورات الحديثة معالجة مسائل المطاطية غير الخطية . ولكن يبقى انه في حدود صلاح النظرية الكلاسيكية ، يتم تشويه شكل الجسم الجامد المطاطي بصورة انعكاسية ، ودونما مقاومات سلبية ذات قيمة ، في حين تحتاج ظاهرات معروفة تماماً إلى ملاك أو نظام : ومن الظاهرات الارتداد أو الرجوع (عودة إلى الحالة الاصلية مع حلقة من المقاومات السلبية) ، والتشويه (تحريف دائم في الشكل) والتشويه المتمادي (تغيير مطرد في الشكل يتفاعل مع الزمن تحت ضغط ثابت) . ان النظريات الجديدة

الضرورية في هذا الشأن (ليونة ، مطاطية ـ لزوجية ، فرط المطاطية) أخذت تترسخ من وجهة النظر الرياضية .

نذكر ان فصلاً جديداً قد فُتِحَ في آخر القرن التاسع عشر ، مع اعمال بوسينسك (Boussinesq) حول توازن كتلة متفكّكة محدودة بسطح مسطح . ان ميكانيك التربة قد اثار ابحاثاً رياضية جميلة (ريزال Résal ، كاكوت Cacot) ، ثم شمل بعد ذلك ، مع فون ترزاغي Terzaghi وفروهليخ Fröhlich ، الاراضي الممتصة .

هذه السمة الأخيرة لتاريخ سريع جدّاً تدلّ تماماً على أنّ الميكانيك الكلاسيكي لم يقل بعد كلمته الأخيرة . ربّما يفكّر البعض أنّ السبب يعود ببساطة إلى كون هذا الميكانيك قد أقام مع التجربة حواراً أكثر يومية وأقلّ قانونية ، وأنّه ، بحكم كونه أكثر إدراكاً للتصويرات التي تجعله أقرب من الواقع ، قد غيّر منحاه . لقد فقد من اليقين الميتافيزيكي (الماورائي) والمظهر الفلسفي ما استطاع أن يكسبه من الفعالية . إنّ تحاليليه محكومة بأن تتموضع على سلم وسط ، وسبله أصبحت أكثر صعوبة وأقلّ إغراء من السبل التي قادته إلى أن يعي مسلماته الأولى . يبقى ولا شك أن نرى ما إذا كانت هذه الرؤية للأشياء صحيحة تماماً .

البحوث القريبة حول التبديه في الميكانيك الكلاسيكي ـ ان مسألة التبديه الدقيق قد طرحها هيلبرت سنة 1900 ، ثم انها بعد ذلك راودت افكار العديد من الرياضيين . ونصف القرن كان ضرورياً حتى تتم محاولات تقديم حلول . وهذا الامر يفهم بسهوله بسبب الثورة الجارية في بنية الرياضيات بالذات .

ويعود الفضل إلى المجموعة الاميركية المسيرة من قبل ك . تروسدل (C. Truesdell) وخاصة إلى ولترنول Walter Noll في بذل جهد ملحوظ في هذا الشأن (1955-1960) .

يُعرّف الميكانيك ، برأي هذا المؤلف ، بأنّه علم الحركات المتعلقة بأجسام متتالية او منفصلة متقطّعة تحت تأثير قوى مشتّركة . ان التعبير « متتالية او متقطعة » يجب ان لا يوقع في الخطأ . ان « جسم » الميكانيك الكلاسيكي هو بذاته وسط متتال مستمر وكلمة « منفصلة متقطعة » ، توحي فقط بتعددية ممكنة في مواضيع الدرس ، وكلمة « متتالية » تدل على ان مسلمات الميكانيك يجب ان تكون ، بحيث تكون الامكان المتتالية بالمعنى القديم والعام ، داخلة فيها بشكل طبيعي وكامل . اما القوى ، الوسيطة في فهم الحركة ، فان كلاً من انظمتهما يتحدد ، بكل عمومية ، كدالة ذات قيم توجّهية في المجموعين ، تفي ببعض شروط التجميع . إذا تمّ هذا ، فان المسلمتين الاساسيتين في الميكانيك الكلاسيكي هما بالنسبة الى و . نول مسلمتان موضوعيتان . ان المسلمتين لا تختلفان إلا من حيث موضوع تطبيقهما .

تتعلق المسلمة الاولى بموضوعية خصائص الجسم . ويبين و . نول بان المعادلات العامة في الديناميك (ميزان الاعمال والعزوم) هي من حصائل موضوعية عمل القوى . وكلنا نعلم ما فيه

الكفاية بان هذه المعـادلات العموميـة ليست بكافيـة ، وانه يجب ان نضيف اليهـا بعض المعادلات المكوِّنة التي تحدد الطبيعة الخاصة للتفاعـل المتبادل بين كل جسـم والقوى الكامنة فيه .

ان مثل هذه المعادلة هي دائمـاً من الشكل التـالي : $T = \mathcal{F}[F]$ حيث تمثل T وتـرة (Tenseur) (الـوترة هي كميـة رياضيـة ذات مكونـات عدة بسمـات ثابتـة شكلية يتغيـر اسـاسهـا) الجهود . وتمثل (F) مقدار الانحراف (التدرّج) في « المنقطة المادية » و $\mathcal{F}$ هي الموظفة الدالية . وقد تُعتبر « كمجموعة ذات خواص موحدة » في مادة ما مجموعة تحولات النـقـاط الماديـة التي من شـأنها ان تتـرك « الموظفـة الداليـة » «$\mathcal{F}$» ثابتـة لا تتغير . ان المجمـوعة المـوحدة الخـواص تميز المواد : بالنسبة الى الجسم الجامد ، تكون هذه المجموعة مجموعة فرعية للمجموعة العامـودية ، في حين انها بالنسبة الى مطلق مائع ، المجمـوعة الاكبـر الممكنة ، اي الـوحيدة القـالب . وتؤكد المسلمة الثانية التي قال بها و . نول على موضوعية المعادلات التكوينية .

والهـام « النسبيـة العـامـة » ظـاهـر هنـا للعيـان ، في حين ان الأمر لا يتعلق الا بميكـانيـك كلاسيكي ، متميزٍ بوضوح كلاسيكيته من خـلال البنيات العـامة التي حـولها يمـارس جهد التجـريد (اجسام وانظمـة القوى) . ورغم ان العلمـاء السوفيـات يتحفظون ويفضلون طـريقاً آخـو من اجل اضفاء الصفة الجيومترية على الميكانيك ، فان الاتفـاق جارٍ بشكـل عام ، من اجـل الاعتراف بـأنّ بـديهيات نـول توافق بـرنامـج هيلبـرت (Hilbert) ، والجـرأة التي امكن بـهـا التـوصـل ، بفضـل المعدات الرياضية ، الى هذه النتيجة ، قد كوفئت بابعد من التصييغ الجديد لما سبقت معرفته .

وبالتعاون مع كولمان (Coleman) استطاع و . نول ان يحلَّ بالعمومية الكاملة بالنسبة الى كل مائع غير قابل للانضغاط ، مسائل اللزوجة المترية (سيلانات بوازيل Poiseuille وكوِّيت Couette) ومباشرة مجالاتٍ جديدة جداً حول اللزوجة غير الخطية ، وكذلك نظرية الانحرافات المتناهية . ان خصوبة التفكير التجريدي والبناء العقلاني ما تزال إذاً مدهشة .

الاستنتاج ـ بعكس ما توحيه ثورات بداية القرن ، لا يعتبـر الميكانيـك من النمط الكلاسيكي مجالاً مستنفداً اليـوم . ان المصير الـذي تنبأ لـه به بـوانكاريـه Poincaré قد اتسـع لحسن الحظ . وبفضل تفاعلات تتكاثر دائماً مع مجالات اخرى من الفيزياء ، فان الميكانيك الكلاسيكي لـم ينغلق على أستثمـار مجالـه القديم الحكـري ، كما انـه لم يتقبـل مفهـوم السلم الـوسط ، وفقـاً لقـانـون المحدودية . لا شك انه صادف من المفارقـات اكثر ممـا عرف من ذي قبـل ، الا ان هذا قـد افاده اكثر في فهم وفي وعي حدوده وطبيعة طريقته ، دون المساس بجـوهره . لا شـك انه اصبـح ورشة تزاوجت فيها موارد الرياضيات الاحدث مع موارد العديد من التقنيات التجريبية من كل نوع . ولكن من هذه الورشة اخذت تظهر قواعد فكرية وانماط حساب واسعـة بحيث تشتمل على اكثـر ما يمكن من الظاهرات الممكنة ، وبآن واحد دقيقة بما يكفي لكي تحوش من قرب البنية التجريديـة . ومثل عمل و . نول يستبعد ان يكون الميكانيك فرعاً من الرياضيات التطبيقية خاضعاً للتجريب .

ولا احد يستطيع القول بان هذا الميكـانيك هـو بكـل بسـاطة « عقـلاني » ، اذ يتوجب عليـه

« لاحقاً » ان يذلل ، بشكل كامل نوعاً ما ، عيوب التلخيص او الاختصار الذي فرض « مسبقاً » . ومهما كان الدين المعقود تجاه الطليعيين الكبار ، فان زمن المطْلَقات من النمط النيوتني قد ولى ولم تعد الأسس مضمونة بفضل ميتافيزيك مبسط .

ولكن هذا الميكانيك ـ في صيغته المسلماتية الجديدة ، الموسومة بعمق بالنسبية العامة ـ ما يزال يحتفظ بالسمات المميزة للميكانيك الكلاسيكي . فهو يشتغل على نفس المواضيع ، فيدرك بنيتها بدقة اكبر ، ويتتبع ايحاءات التجربة ، ويسقط على معطيات الواقع الضوء الساطع الذي يلقيه التحليل الرياضي ، ويستمد من التحليل ما يمكنه من استكمال المفاهيم المجردة . ان هذا الميكانيك هو عام ويجد بالطبع مكانه في التعليم التأسيسي ، كخطوة انتقالية بين الاعداد والتعليم الاكثر تخصصاً . الا انه لم يتوقف عن التطور ، وعن الكون بالنسبة الى الفروع الاخرى من الفيزياء ، وبآن واحد نقطة تلاقٍ ونموذجاً مميزاً .

الفصل الرابع

فيزياء الجوامد

لمدة طويلة ظلَّ الجسم الجامد غيْر ذي أهمية بالنسبة إلى الفيزيائيين ، إلا في بعض حالات استثنائية مثل البلورات الطبيعية التي كان يدرسها علماء المعادن . وعلى وجه العموم كان الجسم الجامد يعتبر كجسم لا يتأثر شكله أبداً ، أو قليلاً جداً ، بالنسبة إلى المؤثرات الخارجية ، الميكانيكية ، أو الحرارية الخ . والشيء المطلوب من هذا الجسم ، من جانب علماء الفيزياء والكيمياء ومن جانب التقنيين من كل نوع ، هو تقديم أغشية أو أغطية ، أو دعائم ثابتة وقوية . ومن الناحية العملية التجريبية ، كان الجهد يبذل من أجل تعيين الحدود التي لا يجب تجاوزها ، خيفة من الانقطاع أو التشويه غير المقبول ، وكان البحث يجري عن جوامد من نوع جيد ، سواء في مجال المعادن أو في مجال مواد البناء .

وفي تقريب آخر ، جرى الاعتراف بأنّ هذا الحد اللاتحول في الشكل ليس دقيقاً . فالجسم الجامد يتمدّد بفعل الحرارة في حين أنّ أحجامه الخارجية تتغير عندما يخضع للشد أو الجذب . وهذه التغيرات الشكلية المسماة مطاطية ، هي ذات ارتداد ، وتتوقف عندما يتوقف الشد . ان نظرية المطاطية ، التي انطلق بها هوك Hooke سنة 1670 ، تطورت بالنسبة إلى الأجسام الجامدة المتجانسة والمتماسكة والموحدة الخواص ثم غير الموحدة الخواص . وقد أعطت الأوجه الرياضية لهذه النظرية مجالاً لامتدادات مفيدة ، سواء في الرياضيات الخالصة وذلك في الحساب الضغطي (مجلد 3) ، أو في مجال التقنيات ، بفضل نظرية مقاومة المواد ، وهي النظرية التي تقدم صيغاً عملية واقعية ضرورية لبناء الماكنات . وتتابعت تطورات نظرية المطاطية حتى أيامنا هذه ولكن بدون تغيير أساسي . ولكن نذكر على كل حال ، ان ج . لافال J. Laval (1956) حصل على نتائج جديدة جداً ، عندما تفحص الجسم المتكون من ذرات مختلفة ، وليس الجسم المتماسك .

ان الجسم الجامد حقاً لا يكون مطاطياً إلا أمام الجذب الضعيف . فإذا تجاوز الجذب حداً ما ، حصلت تشوهات دائمة ، وهذه سميت باللدونة والمطاوعة ، وقد جرت محاولة لتعريف هذه المطاوعة رياضياً انطلاقاً من عدد قليل من المعايير والقوانين (انشتاين ، 1906 ، فون ميزس Von Mises ، 1913) ؛ ودراسة هذه التغيرات في الأشكال سميت بعلم الدفق أو علم التيارات rhéologie .

وأساس تطور ما يعرف الآن باسم فيزياء الجوامد ، كان في اكتشاف البنية الذرية للجوامد بفضل تشتّت أشعة اكس X ، أو انحرافها (فون لو ، 1912) . ومعرفة ترتيب الذرات في البلور ، وانتظام هذا الترتيب أدّيا إلى اكتشافات نظرية متعددة . وبالفعل ان بنية خصائص الذرات المعزولة تتغير بفعل تقاربها ، وبفضل دورية ترتيبها . وقد شعرنا بوجود خصائص جديدة أخضعت بدراسات عملية تجريبية واسعة . وأتاحت هذه البحوث تحسين أو حتى إيجاد مواد فتحت ، بفضل إمكاناتها الخاصة الاستعمالية ، الطريق إلى تقنيات عديدة سهلت مثلاً عدداً من التحسينات الحديثة في مجال الالكترونيك . من هنا جاء الاهتمام بفيزياء الجوامد ، وهي أحد الفروع الأكثر نشاطاً في الفيزياء الحديثة . وتعليم هذا الفرع قد انتشر في كل الجامعات الكبيرة ، ويزداد عدد الباحثين المتخصصين في هذه التقنية باستمرار . ومنذ عدد من السنين تخصصت مجلات علمية دورية دولية في هذا المجال بشكل كامل ، رغم ان المجلات القديمة في الفيزياء ما زالت تخصص لفيزياء الجوامد مكاناً كبيراً . وهذه الدراسة الحاضرة تهدف إلى ذكر المكتسبات النظرية الرئيسية ، والتطبيقات التقنية الأكثر أهمية ، فيما يتعلق بمختلف فروع هذا العلم الناشىء (ان اوجهاً مختلفة من هذه الدراسة ، قد تكررت في فصول أخرى وبتوسيع أكبر إنما من منظور مختلف . فدراسة ج . أورسل Orcel حول البنية الذرية للجوامد ، ودراسة ب . مارزين ، وج . لوميزك حول الخصائص الكهربائية في الجوامد ، الفصل 9 من هذا القسم ، ودراسة آ . بوير وآ . هربين حول المغناطيسية ، الفصل 8 ، هي دراسات تستحق الذكر) .

البنية الذرية في الأجسام الجامدة ـ ان اكتشاف م . فون لو (1912) لانحراف أشعة اكس (X) بواسطة البلورات قد فتح الطريق أمام فرع جديد في العلم : دراسة البنية الذرية في الجوامد . ونذكر أنّه ، بحسب التفسير الذي قدمه و . هـ . وو . ل . براغ Bragg ، تعكس السطوح الشبكاتية في البلور ، ضمة من أشعة (X) ذات طول موجة معين ، بالنسبة إلى زاوية انحدار سمّيت زاوية براغ ، وقد أتاح قياس هذه الزاوية التوصل إلى تباعد السطوح الشبكية أو انفراجاتها . وأولى نتائج هذه الوسيلة الجديدة في الاستقصاء حول البلورات ، كانت تغير تصنيف الجوامد ، الذي كان معتمداً قبل اكتشاف لو . في الماضي كان يطلق اسم البلور على الجوامد التي كانت أشكالها الخارجية تنم عن تناظر ، وعن تنافر في الخواص ، ولكن نعرف الآن ان الغالبية العظمى من الجوامد ، حتى تلك التي لها شكل خارجي غير محدد ، تتكون هي أيضاً من تجمعات من بلورات صغيرة ملتصق بعضها ببعض ، بدون شكل خارجي متعلق ببنيتها . ان الجسم الجامد المتبلر يُعَرَّف فقط ببنيته الذرية . فالكلس المسمى عديم الشكل لا يختلف عن الطبشور الا بضخامة أحجام البلورات . وإذا نظر إلى هذه البنيات وفقاً للسلم الذرّي فانها تبدو متشابهة .

وإلى جانب هذه الجوامد الحقة ، هناك جوامد عديمة الشكل فعلاً ، أتاحت أشعة (X) اكتشاف بنيتها : انها أجسام ذات بنية ذرية غير منتظمة ، وقريبة جداً من بنية السوائل ، الا أنّها تتمتع بلزوجة كبيرة جداً تجعلها ذات أشكال ثابتة ومستقرة ، خارجياً ، بحيث تشبه استقرارية الجوامد الحقة . ونمط الجوامد العديمة الشكل يتمثل في الزجاج . ان الفرق الكبير هو ان الجوامد الحقة ، عندما ترتفع الحرارة ، يكون هناك انتقال مستمر من حالة الجمود إلى حالة

الميوعة ، في الوقت الذي يتلقى فيه الجامد الصحيح ذوباناً صريحاً . وهكذا أحلت معرفة البنية الذرية للمادة محل الحالات الثلاث التقليدية التي تكون عليها المادة ، حالتين متميزتين : الحالة المشروطة المنتظمة (الجامد المتبلر) ، والحالة غير المنتظمة (شكلان متكاثفان ، جامد عديم الشكل وسائل ، ثم شكل ذو ثقل نوعي خفيف ، هو الغاز) .

ويتكون البلور من مجموعة من الذرات ، أو باعث ، يتكرر بصورة دورية بفعل انتقالات شبكة جيومترية مثلثة الأبعاد . وبقول آخر يتكون البلور من تراكم زردات متماثلة ذات شكل متوازي السطوح ، ملتصقة بعضها ببعض . ان الطبيعة الجيومترية في هذه المتوازيات السطوح هي التي تصنف وتحدد نوعية البلور ، وكذلك خصائصه التناظرية . وموضوع علم « استكشاف البلور بالراديو » يقوم من جهة على تحديد طبيعة وابعاد الزردة أو الحلقة ، ومن جهة أخرى ، على كشف ترتيب الذرات داخل الباعث الأولي .

والمسألة الأولى يمكن ان تحل دائماً ، عندما يكون بين أيدينا بلور معزول حتى ولو صغر حجمه جداً (بعض مئات من الملمترات) . في حين ان المسألة الثانية هي مسألة صعبة ليس لها حل عام ، أوتوماتيكي . وبالفعل ، بين و . ل . براغ (1926) ان الثقل النوعي الالكتروني ضمن الزردة يمكن ان يتفكك إلى سلسلة من الموجات الجيوبية ذات الثقل النوعي الذي تكون حقبه موازية لحقب أسر من السطوح الشبكية الشكل في حين تناسب ضخامته مع الجذر التربيعي للطاقة المعاكسة في السطح الشبكي الموازي . ولكن من أجل إعادة تكوين التوزيع الالكتروني داخل الزردة ، يتوجب أيضاً معرفة المراحل المتعلقة بهذه الموجات : ولكن هذا المعطى لم يحصل عن طريق التجربة . ان العمل الدؤوب الذي قام به علماء البحث في البلور بخلال الخمسين سنة الأخيرة ، كان هدفه التغلب على هذه الصعوبة الأساسية بالنسبة لبنيات أكثر فأكثر تعقيداً .

من الناحية النظرية ، كان التقدم ثابتاً . وقامت الطريقة الأولى ، المسماة طريقة التجربة والخطأ (براغ 1920) ، على تصور بنية ممكنة توحي بها معطيات أشعة اكس ، كما تقوم على طرق أخرى فيزيائية ، من أجل احتساب الخط البياني للانحراف (وهو أمر ممكن دائماً) ، ثم مقارنة هذا الانحراف بالنتائج التجريبية ، ثم أخيراً تحسين هذا الخط البياني بصورة تدريجية من أجل تخفيض الفرق بين زخومات الانحراف المحسوبة والمرصودة . ان الطريقة الأولى القوية ، التي تبقى أساسية دائماً هي طريقة سلسلة باترمون Patterson (1928) . هذا الإيجاز أو المختصر لا يستعمل الا معطيات التجربة ، وزخومات الانعكاسات المختلفة ؛ ولكن يمكن الحصول على وظيفة معقدة (دالّة) على البنية ، وكذلك فإنّ جهود العديد من المنظرين هدفت إلى استخلاص البنية ، « من دالة باترسون » . ويكون الحل ممكناً بدون لبس في حالات خاصة ، مثلاً عندما تحتوي الزردة الواحدة على ذرة واحدة ثقيلة موجودة بين ذرّات خفيفة ؛ وهذه الحالة مفيدة لانها هي حالة المركب العضوي الذي نجحت فيه عملية ادخال ذرة معدنية في كل جزيء . وقد تم البحث حديثاً ، من أجل فهم أفضل لشروط النجاح بالنسبة إلى الطرق الموصوفة بانها مباشرة ، أو طرق تحديد البنية ؛ والتقدم الملحوظ الذي حققه كل من : ويلسون Wilson ، 1945 ، وكارل

Karle وهوتمان Hauptman 1951 ، وبرتوت Bertaut 1959 وغيرهم كان ملحوظاً .

وبالمقابل تم تحسين التقنية التجريبية بصورة تدريجية . فاستبدلت غرفة البلور الدائرة والتي وضعها براغ سنة 1920 ، بغرفة ويسنبرغ Weissenberg سنة 1928 ، ثمّ بغرفة التراجع أو التمايل التي وضعها برجر Buerger سنة 1941 ، ثم ريتغراف (rétigraphe) جونغ Jong لسنة 1958 .

ان الحسابات الطويلة جداً تجري الآن بواسطة الحاسبات الأمر الذي أتاح استعمال طرق كانت في الماضي عسيرة . وأخيراً وضعت حديثاً (بواسطة وستر Wooster وغي Gay ، 1960) آلات تحريف أوتوماتيكية خالصة تراكم كل المعطيات المتاحة من أجل حساب البنية الذرية دون تدخل المجرب .

وقد أتاح هذا العمل تحديد بنيات متزايدة التعقيد منذ الاكتشافات الأولى التي حققها كل من و . هـ . وو . ل . براغ : NaCl ، ماس ، الخ . 1913) حتى التوصل إلى أول بروتين (الميوغلوبين : بيروتز Perutz 1960) .وهكذا تمّ الانتقال في أقل من خمسين سنة من البلورات التي تحتوي على ذرّة أو ذرّتين في الزردة ، إلى بواعث ذات عدة ألوف من الذرات .

ونشير إلى بعض المراحل الوسيطة المهمة . في سنة 1952 وضع و . ل . براغ بنية السليكات وبيّن كيف ان هذا الاكتشاف يجدّد بصورة كاملة كيمياء هذه الأشياء . ان البلورات العضوية قد فحصت في سنة 1930 (بنية النفتلين من قبل روبرتسون Robertson) وهكذا تم العثور مباشرة على الخواتم السداسية الأضلاع من الكربون التي استنتج الكيميائيون وجودها مع النوى البنزينية . وقرر د . هودكين ـ كروفوت Hodgkin-Crowfoot سنة 1941 بنية البنسلين ، قبل ان يعثر الكيميائيون على صيغته المتطورة . ووجد ل . بولنغ Pauling البنية الحلزونية في البروتينات ، وحصل تقدّم ضخم في بنية متعددات الأم ، وخاصة الخيوط النسيجية بفضل آستبوري Astbury ، 1930 - 1940 . وفي الوقت الحاضر تم فحص البنيات المعروفة في مجملها بشكل يتيح قياس المسافات الموجودة بين الذرات ، وزوايا الارتباطات بدقة . وفي هذا معطيات أكيدة عليها يمكن بناء نظريات الارتباطات بين الذرات ، أي المركب الكيميائي (بولنغ Pauling) . وخلال الفترة الواقعة بين 1925 و1950 عُرفت تقريباً كل بنيات مراحل أو حالات الخلائط المعدنية : وهذه الحالات بوجه عام لا تتوافق مع تركيب معين ، وبنيتها البلورية هي إذاً مميزها الرئيسي . وهذا يعني أهمية الأعمال حول البلورات ، في المجال التعديني ، وبصورة خاصة أعمال وستكرين Westegren وفراغمن Phragmen سنة 1925 ، وأعمال هاغ سنة 1930 ، ولافس Laves سنة 1932 الخ . ووضع هيوم روثيري Hume Rothery سنة 1934 تصنيفاً للمراحل المعدنية أمكن تبريره فيما بعد بواسطة النظرية الالكترونية حول المعادن .

ولجأ الكيميائيون وعلماء المعادن بشكل متزايد إلى استعمال أشعة X ، خاصة في الحقبة الواقعة بين 1930 و1940 . وأتاحت طريقة التحاليل بالراديو المطبقة على مسحوق بلوري معرفة ماهية المركبات ، من خلال خطر انحرافها .

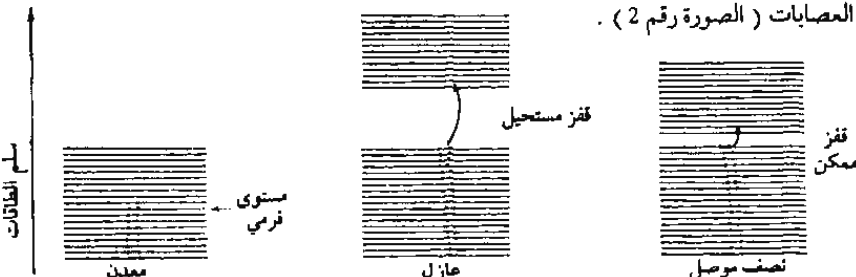
وانتشرت الطريقة التي أدخلها هاناولت Hanawalt ، ورين Rin ، وفريفل Frevel سنة 1938

بفضل مجموعة الخطوط البيانية المعيارية ، وهي مجموعة أعدتها الجمعية الأميركية لريازة المعادن . في معدن مؤلّف من بلورات ذات بنية معروفة ، يهتم عالم المعادن « بالنسيج » أي بحجم البلورات الأولية ، وبالكيفية التي تتبعها هذه البلورات في توجهها (بولاني Polanyi ، 1928) ، وهذا ما هو من نتائج المعالجات الميكانيكية (مثل التصفيح والمدّ) وكذلك بفعل المعالجات الحرارية . وبعد الكشف على هذه النسيجية يعطي انحراف أشعة X للمعدّن الوسيلة في فهم وبالتالي السيطرة على المعالجات التي يخضع لها هذا المعدن من أجل الحصول على المواصفات المطلوبة .

وبعد معرفة ترتيب الذرات في البلور من جهة ، ومن جهة أخرى ، بعد معرفة تركيب الذرة المعزولة مع نواتها وما يرافقها من الكترونات ، أراد المنظرون التنبّؤ بالتغييرات التي تصيب هذه البنية الالكترونية في الذرات ، التغييرات العائدة الى تقاربها المنتظم داخل البلور . ان الطبقات الالكترونية الداخلية قلما تتأثر ، وتبقى في المقاربة الأولى كما كانت عليه في الذرة الحرة . وفي المقابل يكون الفرق كبيراً بالنسبة إلى الالكترونات الخارجية .

وهناك دراسة أولى قام بها سومر فيلد Sommerfield سنة 1930 طبقت على مجمل الالكترونات ذات القابلية كقابلية بلورة معدنية المعادلات المطبقة في الميكانيك التأرجحي ومعادلات احصاء فرمي ـ ديراك . واستنتج سومر فيلد أن الالكترونات ذات القابلية المعدنية ، يجب ان تتوزع على سلسلة من المستويات المحصورة المتطابقة مع سلسلة من الطاقات المحددة ، بشكل انه في نفس المستوى لا يمكن العثور ، في الأكثر الا على الكترونين مع سبينات متضادة . وهذه القاعدة نفسها (بولي ، 1925) هي التي أتاحت توزيع الالكترونات على الطبقات المتتالية في الذرة المعزولة ، كما شملت هذه القاعدة مجمل الذرات في بلورة واحدة .

وفيما بعد تم تحسين النظرية مع الأخذ بالحسبان الحقل الكهربائي الجامد أو الثابت الذي توجده النُوى الموجبة في الذرات المصفوفة بشكل دوري داخل البلورة (ف . بلوش 1928) . وكانت النتيجة الأساسية ان المستويات الممكنة حيث يمكن ان تتمركز الالكترونات لم تعد متسلسلة بشكل منتظم بل أصبحت تتجمع بشكل عصابات تفصل بينها عصابات من الطاقة المحظورة ، ولم يعد لأيّ الكترون ان ينتشر داخل البلورة عندما تكون طاقته محصورة ضمن هذه العصابات (الصورة رقم 2) .



صورة 2 ـ رسيمة لعصابات ذات مستويات طاقوية ممكنة ، تحتلها الكترونات في معدن أو في عازل أو في موصل نصفي .

إن دراسة حالة الالكترون في البلورة لا تتحدّد فقط بقيمة طاقتها بل أيضاً بالسهم الذي يمثل كمية الحركة .

ونميز كل الكترون من المجموعة بنقطة في المساحة المسمّاة فضاء العزوم ، الذي هو طرف أخير في السهم الممثل لكمية الحركة ، والمرسوم انطلاقاً من أصل مشترك . هذا الفضاء مكمّم أي أنّه يقسم إلى جيوب صغيرة لا يمكنها ان تحتوي إلا على نقطة تمثل حالة الكترونين (ذوي سبينات متضادة) .

ومجمل النقاط المتوافقة مع كل من الحالات الممكنة ، في العصبة الأولى ، موجود ضمن متعدد أوجه ، يسمى منطقة بريلوين Brillouin (1930) ، يتعلق شكلها بالبنية البلورية للمعدن . ومجمل الحالات المشغولة فعلاً ، محصور بما يسمى مساحة فرمي (1932) .

ومع البنيات الذرية في البلورة ، يشكل هذا التصوير لحالات الالكترونات أسس نظرية الجوامد . وتلقت « نظرية العصبات » هذه التي تنطبق على كل الجوامد المعدنية أو غير المعدنية ، تأكيد وقائع تجريبية عديدة . ان مسألة تحديد سطح فرمي ، وبنيات العصبات هي إحدى المسائل المهمة جداً في فيزياء الجامد ، والكثير من القياسات التجريبية قد جرت ضمن هذه الغاية .

الخصائص الحرارية للبلورات ـ ان الحرارة النوعية هي نتيجة التحرك الحراري في الذرات وتحولها بتحول وتغير درجة الحرارة (راجع أيضاً حول هذه المسألة ، الفصل السابع) . ان المقاربة الأولى تقوم على النظر إلى الذرات باعتبارها معزولة ، مما يؤدي إلى التفسير النظري لقاعدة دولون Dulong وبيتي Petit العملية ، ضمن المفهوم الكلاسيكي . وشرح انشتاين سنة 1907 ، بعد ادخال مفهوم الكنتا ، سبب انعدام الحرارة الذاتية في الجوامد ، عند حالة الصفر المطلق . ولكن لما كانت الذرات مرتبطة ببعضها البعض لتشكل البلورة ، فهناك تفاعلات في تحرك الذرات المتجاورة . واستطاع بورن Born وفون كارمان Von Kármán سنة 1912 تحليل هذه التفاعلات وبيّنا بأن الحدث الأولي هو انتاج موجات تحرك حراري تجتاز البلورة ثم تنعكس على حدودها أو أطرافها . واستطاعا تصنيف هذه الموجات ، بعد تكميمها بشكل فونون ، ثم قياس طاقتها . وحسب ديبيه Debye انطلاقاً من نموذج بسيط ، تغيرات الحرارة النوعية بتغير درجات الحرارة (1912) ونظريته قد أثبتتها التجربة . ان الدراسة العملية للحرارة النوعية ، في الدرجات الحرارية الدنيا جداً ، مفيدة للغاية (مساهمة الالكترونات في توصيلية المعادن) .

ان التوصيلية الحرارية في الأجسام العازلة قد درست بفضل مفهوم الفونون وبفضل انتشارها في الأجسام الصلبة (ديبيه ، 1941 ، وبيرلس Peierls 1929 ، وكليمانس Klemens 1951) . ومن جهة أخرى أمكنت دراسة موجات التحرك الحراري ، بصورة تجريبية بفضل انتشار أشعة X (لافال Laval 1940) . وأخيراً رُبط التمدد الحراري بعدم الانسجامية في حركات تذبذب الذرات (غرونيسن Gruneisen 1926) .

الخصائص الكهربائية في الجوامد ـ إنّ أبسط هذه الخصائص هي التوصيلية . وتحت تأثير

فرق الكمون ، تسلك الجوامد سلوكاً متغيراً ، كما ان مقاومتها تختلف بنسب ضخمة ، انطلاقاً من العازلات شبه الكاملة وصولاً إلى أفضل الموصلات . وهناك نظرية أولى قد آتاحت التثبت من الفرق بين العازل والموصل . في العازل ترتبط الالكترونات المحيطية بذرة من الذرات (الجامد المؤيّن ، NaCl ؛ م . بورن ، 1930) أو بذرتين متجاورتين (جامد مزدوج الصلاحية ، كالماس) ولا تستطيع ان تتحرك من مكانها . ولو تحت تأثير حقل كبير خارجي . وبالعكس في الموصل ، يوجد الكترونان حّران يتنقلان ، أي ينقلان التيار (حالة المعادن) . ولكن النظرية الكلاسيكية حول الالكترونات الحرة (درود Drude 1909 لورنتز Lorentz 1910) ، لم تستطع ان تفسر ، كمياً ، المقاومية وتغييراتها ، مع تغير درجات الحرارة ، ولا أن تنبيء عن وجود أجسام وسيطة ، تسمى الموصلات النصفية . انها النظريات الكانتية ، وبصورة رئيسية « نظريات العصبات أو الحزم » هي التي مكنت من توضيح الوضع (أ . هـ . ويلسون 1930) .

ان الجامد يكون موصلاً عندما تكون الكترونات التكافؤ لا تحتل كل المستويات العامة ضمن العصبة : عندها يقال ان العصبة ليست ممتلئة . وعند درس أثر مطلق حقل خارجي ، أمكن حساب المقاومة في المعدن . وهذا المعدن يكون موصلاً إلى أقصى حد إذا كان كاملاً إلى أقصى حد ، لكن التشويهات في بنيته تحد من توصيليته . وتزداد المقاومة بارتفاع درجة الحرارة ، التي ترفع من تذبذب الذرات وتزيد أيضاً بزيادة كل شيء يمكن أن يحدث شرخاً أو تمزقاً ثابتاً (ماتيزين Matthiesen 1925) ؛ كما ان المعادن المستعملة كموصلات يجب ان تكون نقية للغاية (النحاس الالكتروليزي : اي المجمع بواسطة التحليل المائي) . ان التوصيلية الحرارية قد فُسّرت هي أيضاً وكذلك القانون التجريبي الذي وضعه ويدمان وفرنز Weidemann - Franz الذي يربط التوصيلية الحرارية بالتوصيلية الكهربائية .

ان المظهر النظري لظاهرة التوصيلية العليا قد بحث في غير هذا المكان (الفصل التاسع) . ومن وجهة نظر عملية تعتبر الأجسام الجيدة التوصيل ذات أهمية كبيرة لو تحققت بدرجات حرارة يمكن الوصول إليها . ومكن البحث المنهجي عن المواد ذات النقطة الحساسة المرتفعة إلى أقصى حد من الوصول إلى درجة حرارة 17°K (كلفين) ، وأخيراً يمكن استخدام إمكانية الحصول على تيارات ذات زخم مرتفع ، بصرف طاقة ضعيفة جداً من أجل استحداث حقول مغناطيسية عالية . ولكن للأسف تتوقف التوصيلية العالية جداً، عموماً في حقول مغناطيسية ضعيفة نوعاً ما . ومع ذلك أمكن العثور حديثاً على مركب هوموليبدينور الأنديوم Molybdénure d'indium يمكن من الحصول على حقل مغناطيسي من عيار 80 000 أورستيد Oersteds تحت 18°K دون صرف يذكر في الطاقة .

وبحسب نظرية العصبات تتكون العوازل من بلورات تكون عصبتها « الطاقوية » مملوءة تماماً ، أي أن كل الحالات الممكنة في هذه العصبة ، تشغل بالكترونات ذات صلاحية ، ولكن الالكترونات لا تستطيع ان تغير عصبتها تحت تأثير الحقل المطبق لأنها لا تستطيع الحصول على المكمل من الطاقة الضرورية للقفز فوق العصبة المحظورة . ومن جراء هذا ، لا يكون للحقل أي مفعول ، وحيث انه لا يوجد تيار في غياب الحقل ، فإنه لا يوجد تيار أيضاً عند وجوده ؛ عندئذ يقال ان الجسم عازل كامل .

ان الخصائص ذات الكهربة المزدوجة في العوازل مفيدة جداً نظرياً وعملياً . ان نظرية اتجاه القطبين (ديبيه ، 1912) قد استخدمت لشرح سلوكية الجوامد تحت تأثير الحقول ذات التوتر المرتفع (خسارة كهربية مزدوجة تتيح تسخين العوازل) وقد وجد في هذا المجال مواد ذات خصائص فريدة . من ذلك ان الحديديات المكهربة يمكن ان تستقطب عفوياً وتحصل في بعض الحالات على ثابت مزدوج الكهربة ضخم (ملح روشل ، فازاليك Vasalek ، 1921 ؛ تيتانات الباريوم titanate de baryum ، فون هيبل Von Hippel ، 1943) وأتاحت البيزو الكهربائية Piezo électrique (الكهر إجهادية) تحويل التشويهات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية ، ومن هنا استعمالها ككاشفات للموجات المطاطية أو للضغط (الكوارتز : ج . وب . كوري Curie ، 1880 ؛ تيتانات الباريوم) . وبالعكس تستطيع البيزو الكهربائية ان تشكل مولدات فوق صوتية انطلاقاً من ذبذبات كهربائية .

وقد أتاحت النظرية تفسير الخصائص الممتازة الموجودة في الموصلات النصفية (مثل السيليسيوم والجرمانيوم) التي اتخذت أهمية متزايدة في تقنيات متنوعة جداً . وتمتلىء عصبة طاقتها ، كعصبة العوازل ، ولكنها تكون مفصولة عن العصبة اللاحقة ، عصبة الحالات الممكنة ، بفرجة أو فتحة طاقوية ضعيفة جداً يمكن في بعض الحالات ان تقطعها الالكترونات .

أ ـ هذا القطع يمكن ان يتحقق بفعل التحرك الحراري . ان التوصيلية المتزايدة ، أسيّاً بتزايد درجة الحرارة وكذلك في الموصلات النصفية ، يمكن ان تُستخدم من أجل قياس درجات الحرارة أو مراقبتها (المقاومات الحرارية) ؛

ب ـ ويمكن ان تتحرر الالكترونات بفعل امتصاص الطاقة الضوئية : وهذه الخاصة تستعمل في بعض الخلايا ؛

ج ـ بإضافة شوائب بكميات ضعيفة جداً (أقل من 10) ، يمكن أيضاً تمرير الكترونات في العصبة الحرة (توصيلية عن طريق الالكترونات من نمط n) . وهناك شوائب أخرى تتيح خلق فراغات في العصبة المملوءة نظرياً فتحدث توصيلية سببها ما يسمى بالثقوب (نمط p) . وتركيم منطقة (n) مع منطقة (p) ضمن بلورة واحدة (مثل السيليسيوم أو الجرمانيوم) يعطي « التقاءً » مزوّداً بخصائص كهربائية مفيدة للغاية . ومقاومة هذا الالتقاء مرتبطة باتجاه التيار . فالالتقاء يتيح تصويب التيارات الصناعية ، أو التقاط التيارات ذات التواتر العالي .

وبواسطة الالتقاءين ضمن نفس البلورة نحقق ما يسمّى بالترانزيستور الذي أحدث تقدماً ضخماً في مجال الالكترونيك . والتقاء موصلات نصفية من نمطين يمكن ان يشكل بطارية ضوئية تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية .

واستعمال الموصلات النصفية قد جدد في المفعول الكهربائي الضوئي . والبحث المنهجي عن أفضل أزواج المواد على أثر اكتشاف خصائص التلورور البسموتي tellurure de bismuth (يوفي Ioffé ، 1940) قد أتاح التوصل إلى انتاجية من عيار 10% في قلب الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية ، من منابع من عيار 200 إلى 300 درجة مئوية ، ومع 0^o مئوية

(وهذه طريقة جديدة في استخدام الطاقة الشمسية) . ان المفعول المعاكس أو مفعول بلتيه Peltier قد استخدم ، مع نفس المواد كمصدر للبرد انطلاقاً من الطاقة الكهربائية (صنع البرادات) .

الخصائص المغناطيسية في الجوامد : تحت تأثير الحقل المغناطيسي يكون سلوك المادة متنوعاً جداً ، مما يتيح تصنيف الأجسام إلى ثنائية المغناطيسية وضعيفة المغناطيسية ، وحديدية المغناطيسية ، وهذه الحالة الأخيرة لا يمكن أن تظهر إلا في الجمودية .

وتتعلق الحديدية المغناطيسية ، ليس فقط بالخصائص المغناطيسية الموجودة في الذرات بل تتعلق أيضاً بترتيبها المتبادل أي بالبنية الذرية في المادة . ان ب . ويس Weiss (1907) هو الذي وضع نظرية الحديد المغناطيسية حين أدخل مفهوم « الحقل الجزيئي » . وهذه النظرية قد تجددت فيما بعد بفضل الميكانيك الكانتي (الكمّي) . في حين كان هناك ظاهرتان أخريان مهمتان ، المضاد الحديدي المغناطيسي والمغناطيسية الحديدية ، متوقّعتان نظرياً ، ثم توضحتا تجريبياً . وعلى موازاة التقدم النظري تم تحضير العديد من المواد المغناطيسية الجديدة ذات الخصائص المتنوعة جداً : مثل معادن ذات نفاذية كبيرة جداً (Permalloy-Super, malloy مزيج من النيكل والحديد ، مزائج الحديد المؤكسدة من صيغة MO, Fe_2O_3 وفيها يكون M أيوناً معدنياً ثنائي التكافؤ) والتي هي مغناطيسية وعازلة بآن واحد .

ان هذه المركبات الحديدية ذات أصناف متنوعة : بعضها يتمتع بنفاذية كبيرة وفيه القليل القليل من الخسائر الخُلفية مما يتيح استعمالها في محولات التيارات ذات التوتر العالي . وهناك مركبات أخرى ، تتمتع بخُلفية قوية جداً مما يتيح بناء مغناطيسات دائمة وقوية وذات أشكال متنوعة جداً . وهناك بعض مركبات الحديد ، من التي ليس لها إلاّ حالتان من حالات المغنطة ذات الاتجاه المعاكس ، والتي يمكنها ان تشكل ذاكرات في آلات الحساب . وقد تم أيضاً اكتشاف بلورات شفافة ومغناطيسية ، وحجارة ذات تربة نادرة تستعمل في المازرات (أي المكبرات الاشعاعية) .

الخصائص البصرية في الجوامد : ان الخصائص الابصارية في الجوامد تتعلق بتفاعل الموجات الكهرمغناطيسية مع الالكترونات أو الأيونات . وبالنسبة إلى المعادن ، تكون الالكترونات الموصلة هي التي تحدث الامتصاص وتحدث القدرة العاكسة التي هي من خصائص اللمعة المعدنية (درود Drude ، 1900) . في الجوامد المؤينة ، ترتبط رقعة امتصاص تحت الأحمر بحركة الأيونات المتعاكسة الإشارات بالنسبة إلى بعضها البعض ، وتواتر هذه الرقعة يُحسب انطلاقاً من ثوابت متمددة من البلور (الأشعة المتبقية ، روبنس Rubens ، 1902) .

وعندما ندخل عيوباً في بلورة مؤيّنة شفافة مثل الهالوجين القلوي (عن طريق التسخين في بخار المعدن ، أو بواسطة الاشعاعات المتنوعة) يتلون البلور . وتتواجد رقع امتصاص ، نتيجة

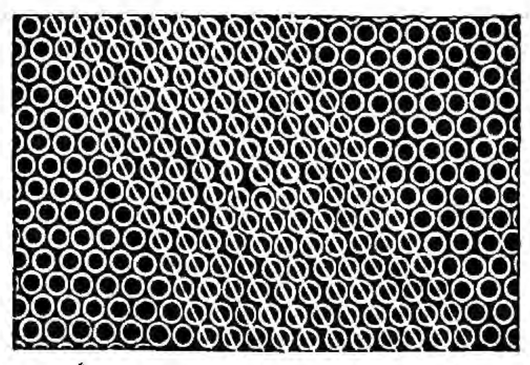
الثغرات الذرية المتنوعة : ان المراكـز الملونة قـد درست كثيراً ، هكـذا مثلاً المـركز F يتكـون من نقص سلبي اختطف الكتروناً الخ ، (بوهل Pohl ، 1930) .

ان الكثير من الجوامد المشعّعة بضوء ذي موجة قصيرة جداً تعود فتصدر موجـات ذات أطوال أطول ، اما مباشرة (مثل حالات التشعيع) أو بصورة لاحقة مثل حالات الفسفرة .

وقـد تبين ان الشائبـة ذات النسبة الخفيفـة ضروريـة من أجل تنشيط الجـامد . وقـد عمـدت دراسات عديدة على توسيـع الفهم النظري لهـذه الظاهـرة ، وأدت إلى تطبيقـات عملية مهمـة جداً (مثل البلورات اللماعة ، من أجل احتساب الجزئيات أو الفونون في الطاقـات الكبيرة ، والجـوامد المنورة كهربائياً : دستريو Destriau ، 1935 ، الخ) .

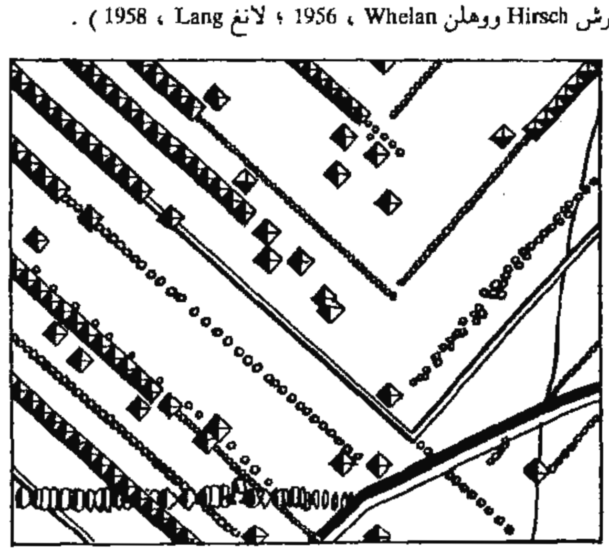
الخصائص الميكانيكية في الجوامد : رغم ان الجوامد وخاصـة المعادن تستعمـل في أغلب الأحيان بسبب خصائصها الميكانيكية ، فإن هذه الخصائص هي من بين الأشيـاء الأكثر صعـوبة في التفسير نظرياً ، وما نزال حتى الآن بعيدين عن الحصـول على نظريـة تمكننا من الاطـلاع ليس فقط على كل الخصوصيـات الملحوظـة ، بل أيضـاً على الوقـائع العـامة حتى البسيـطة منها . وكـذلك الدراسات في هذا المجال تتـابع على صعيـدين متوازيين ، محـاولات نظريـة خالصـة ، جرت في اتجـاهات مختلفـة ، ودراسات تجـريبية أو نصف تجـريبية تهـدف إلى تحسين المـواد أو المعـادن الموجودة .

والسبب الرئيسي في الصعوبـة الملتقاة يكمن في ان النمـوذج البسيط للبلورة الكاملة هـو غير مُلائم اطلاقاً ، وغير مؤهل للافصاح عن الخصائص الميكانيكية الأكثر بداثية ومنها مثلاً قيمة شحنـة انقطاع بلورة واهية أو الحد المطاطي في معدنٍ طري . من المعلوم الآن ان عيوب البنية تلعب دوراً أولياً في تحديد الخصائص الميكانيكية الموجودة في مرتبة أدنى من خصائص البلور الكامل . وهذه العيوب يركز عليها النظريون ، ونموذج العيب الأكثر استعمـالاً هو التمـزق أو التشتت وهي خاصيـة أدخلها تايلور Taylor ، واوروان Orowan وبورجرس Burgers سنة 1930 .



صورة 3 ـ التمثيل الموجز للتشتت ضمن ترتيب منتظم ذي بعدين . تصوّر الذرات بفقاقيـع منتظمـة تعوم على سطح الماء ومتلاصقة بعضها مع بعض في ترتيب سداسي الأضلاع منتظم .

تحتوي الشبكة البلورية على « تشتت زاوي » عندما ينقصها نصف سطح ذري (صورة رقم 3) وعندما تكون الذرات المجاورة مزاحة قليلاً من مكانها بحيث تسد الفراغ جزئياً ، ويشكل طرف نصف السطح خط التشتت . وليس التشتت الزاوي النمط الوحيد الممكن في التشتت (التشتت اللولبي) . وقد ثبت وجود هذه التشتتات ، الذي توقعه في باديء الأمر المنظرون ، بفضل عدد كبير من المشاهدات . ويمكن تعداد هذه التشتتات ضمن البلورة ، ثم تحديد شكلها ، ثم تتبع حركاتها عند تشوه البلورة ،وبفضل طرق صور الهجوم التي تكشف تقاطع خطوط التشتّت مع السطح (صورة رقم 4) ، بفضل طرق تلوين الخطوط داخل بلورة شفافة (ميتشل Mitchell ، 1955) ، وأخيراً بفضل الصور المحصول عليها بواسطة الميكروسكوب الالكتروني أو بواسطة أشعة اكس (X) (هرش Hirsch ووهلن Whelan ، 1956 ؛ لانغ Lang ، 1958) .



صورة 4 ـ تقاطع السطح في بلورة من فلورور الليتيوم ، في خطوط التشتّت المكتشفة بفضل صور الهجوم .

ومن بين العيوب الأخرى التي درسها المنظرون نذكر الذرات الناقصة أو الثغرات ، والذرات المعيوبة ؛ وهذه الأخيرة قد تتجمع أحياناً حول خطوط التشتت (فتسمى غيوم كوتريل Cottrell) .

من وجهة نظر نصف ـ تجريبية جرى البحث في ربط الخصائص الميكانيكية للمعادن ، بعد قياسها بدقة ، ببنيتها أو بتركيبها فيما يتعلق بالخلائط ، تبعاً للمعالجات الحرارية أو الميكانيكية . ونتائج هذه الدراسات المنهجية قد ساعدت بشكل ضخم على التقدم في الإفادة إلى أقصى حد من هذه المعادن ، وهو أمر ضروري لسد الاحتياجات الجديدة لدى التقنيين : معادن مقاومة وخفيفة بآنٍ واحد من أجل الطيران ، معادن تقاوم درجات الحرارة المرتفعة ، تستعمل في الماكينات الحرارية العاملة في المفاعلات مثلاً ، معادن تقاوم التآكّل ومعادن تقاوم الاشعاعات الذرية كما هو الحال في البطاريات ، الخ .

يتطلب اعداد معادن ذات نوعية جيّدة مراقبة دائمة بواسطة الطرق الأكثر رهافة (مثل أشعة اكس X) ، أو الخصائص الميكانيكية المغناطيسية ، أو المقاييس التمددية : مثل ميزان شيفنار Cgévenard ، 1920) ويمكن عندها تحسين المعالجات المتزايدة التعقيد والضرورية من أجل اعطاء المعدات سلسلة المواصفات المطلوبة .

ان النظرية ، وان لم تمكّن من اكتشاف أساليب جديدة قد وضحت وبالتالي قد حسنت المعالجات المعروفة بشكل عملي تجريبي : التحول الفولاذي التركيب ، سقي الفولاذ ، التصليب البنيوي للخلائط الخفيفة (المكتشف من قبل ويلم Wilm سنة 1909 على معدن الألمينيوم الصلب (الدورالومين)) .

وبالمقابل ما تزال بعض الظاهرات المهمة من الناحية العملية مستعصية على التفسير النظري الكامل . من ذلك مثلاً حالات تعب المعادن ، أو انكسار المعدن تحت تأثير الضغوطات المتتالية ، وأخيراً مطاوعة المعادن التي تبدأ بتشويه فيها تحت تأثير ضغط دائم ولمدة من الزمن (وهي دراسة بدأ بها اندراد Andrade سنة 1911) .

في حين لم تتقدم صناعة التعدين بالنسبة إلى الحديد والبرونز طيلة عدة عشرات من القرون ، الا ببطء ، وبشكل تجريبي خالص ، أدّى ادخال الطرق العلمية إلى اختصار هذه التلمسات بشكل ضخم . من ذلك مثلاً ، بالنسبة إلى الألومنيوم ، لم يدم التطور أكثر من خمسين سنة ، وفي بضعة سنوات أمكن حلّ مسائل أثارها استعمال المعادن الجديدة ـ مثل الاستعمالات التي أدخلتها الصناعة النووية ـ ومن هذه المعادن الجديدة الأورانيوم والزيركونيوم والنيوبيوم ، الخ .

الفصل الخامس

إبصارية الضوء المرئي

تذكير بالتطور السابق - إنّ علم البصريات في القرن العشرين كان واقعاً في أزمة. فهذا العلم أوجد من أجل دراسة الظاهرات الضوئية : الرؤية ، الضوء ، الألوان والصور وكذلك المعدات المرتبطة بها .

وطيلة أكثر من ألفي سنة كان الغرض الأساسي من علم البصريات هو البحث عن عملية الرؤية . وقد حلت هذه المسألة في بداية القرن السابع عشر ، بفضل فرضية وجود « مضغة » (شيء) منتشر صادر عن الأشياء المضيئة أو المضاءة باتجاه عين الرائي ، ووجّه علم البصريات اهتمامه الأساسي نحو البحث عن طبيعة هذه المضغة ، وهذا ما سمي بالبحث عن « طبيعة الضوء » . وكانت هنا مسألة إبصارية خصوصية ذاتية ؛ الشعاع أو المضغة التي كانت تحدث الرؤية ، هل كانت هي العامل الوحيد القادر على التأثير في العين ، وهل كانت العين هي الكشاف الوحيد الذي يكشف هذا العامل الخارجي ؟ هذه المسألة كانت الموضوع الأساسي في علم الإبصار الفيزيائي .

ولكن في السنوات الأولى من القرن 19 ، قامت ملاحظتان بزعزعة أسس علم الإبصار الكلاسيكي . « فالشعاع » القادر على التأثير في العين ، يملك أيضاً تأثيراً حرارياً يظهر في ميزان الحرارة ، ويغير كيميائياً بعض المواد مثل نيترات الفضة التي تسودّ تحت تأثير الاشعاعات ذات المظهر الأزرق أو البنفسجي .

فضلاً عن ذلك ان نحن نقلنا ميزان الحرارة على طول الطيف الشمسي ، فان الأثر الحراري يتصاعد من البنفسجي نحو الأحمر ، وبشكل خاص إلى أبعد من أقصى الأحمر . وكذلك الأثر الكيميائي (أو الأثر « الاكتيني ») على املاح الفضة يزداد من الأحمر باتجاه البنفسجي ويستمر إلى أبعد من البنفسجي الأقصى . واستنتج من ذلك وجود تحت الأحمر وفوق البنفسجي وعند ذلك جرى الكلام عن ضوء غير مرئي أو عن ضوء أسود .

وطيلة أزمان بعيدة ، لم يلاحظ أحد أن هذه الاكتشافات قد غيرت بشكل عميق دور

البصريات . فليس فقط ان العين لم تعد هي الكشاف الوحيد عن الضوء ، ولكن أيضاً أثبت وجود ضوء غير قادر على التأثير على العين . ووظيفة هذا العضو بالنسبة للضوء أخذت تفقد قيمتها بصورة تدريجية .

وبذات الوقت ، ومن أجل تفسير بنية الضوء تم استبدال النظرية الجسيمية بنظرية الذبذبات التي تعتبر الضوء وكأنه مؤلف من موجات مطاطة تنتشر في مائع خاص وافتراضي هو الأثير . وادى توسيع حقل الاشعاعات غير المرئية ، واكتشاف الموجات الكهرمغناطيسية واكتشاف أشعة اكس ، وبصورة تدريجية ، إلى تصور اطار عظيم من الموجات التي تتسلسل أطوال موجتها من العديد من آلاف الكيلومترات إلى بعض أجزاء المليار من المليمتر (أنظر الفصل التاسع) . ان الأشعة القادرة على التأثير في العين البشرية تدخل ضمن هذا المجمل ، الا أنّها لا تمثل إلا جزءاً يسيراً جداً منه ، وهي التي يتراوح طول موجتها بين (0,76) إلى (0,38) ميكرون . وفقدت دراسة طبيعة الضوء ، ودراسة الظاهرات الإبصارية هكذا صفتها الخصوصية التي كانت لها حتى بداية القرن التاسع عشر ، ودخلت ضمن الحقل الواسع حقل الكهرمغناطيسية .

ولم يعد لعلم الإبصار الفيزيائي ، المقصور على الموجات التي تؤثر في العين وحدها ، من سبب يبرر وجوده ؛ إذ كان لا بد من دراسة طبيعة وخصائص هذا المجمل الكبير الذي يهُمّ كل الفيزياء .

بنية علم البصريات في مطلع القرن العشرين ـ الواقع انه بنوع من الجمود ، في بداية القرن العشرين ، استمر الكلام الكثير عن علم البصريات ، بل وعن عدة اشكال منه . والبصريات الجيومترية ، كعلم رياضي خالص ، ترى ان الضوء يتألف من أشعة جيومترية مؤهلة للانعكاس وللانكسار أو الانحراف ، دونما اهتمام بطبيعته الفيزيائية . ورغم ان بعض التجارب حول التداخل ، والتشتت والتجمع أو الاستقطاب قد بينت انه لا يمكن اعطاء الأشعة الجيومترية وجوداً فيزيائياً حقيقياً ، فقد تابع علم البصريات الجيومتري تقدمه . وأدت بساطته المختصرة بالفعْل إلى عرضه للظاهرات الضوئية عرضاً تعليمياً ميسراً . فضلاً عن ذلك ، لقد استمر يتحكم بالدراسة النظرية لمشاريع أدوات الإبصار ، حتى جاءت بعض الظاهرات ذات الطبيعة التذبذبية تدحض صوابية المبادىء المفترضة والمقبولة .

ومن منظور مختلف جداً تخصص علم البصريات الفيزيولوجي ، بشكل خاص ، بدراسة العين ، وعملية الرؤية والتشويه البصري وكيفية معالجته . وأدت هذه الدراسة إلى علم البصريات السيكولوجي الذي جهد في تعريف قوانين التصور النفساني لحافزات التشعيع على العين . وأدى هذا العلم أيضاً إلى تقنية صنع النظارات ، المتخصصة لتصحيح التشويهات عملياً ، وإلى طب العيون المتوجه نحو معرفة أمراض وتطبيب أمراض العين وتوابعها البصرية .

وأخيراً اعتبرت كقطاعات أو فروع في علم البصريات ، علم « الفوتومتريا » أو دراسة الطاقة المشعة ، كضوء وألوان تراها العين البشرية ، ثم تقنية الإضاءة ؛ وإلى جانب الفوتومتريا هناك علم الألوان وغرضه قياس الألوان وتحديدها في جوهرها الفيزيائي .

كذلك كان يُعتبر ضمن علم البصريات فن التصوير الفوتوغرافي الذي يسجل صوراً بصرية على قشرة حساسة ، بواسطة آلات مزودة بعدسات أو بأنظمة بصرية أخرى ، وكذلك العديد من التقنيات الأخرى المشتقة مثل : التصوير السينمائي ، والتصوير النجومي ، والتصوير الفوتوغرافي ذو الأبعاد أو التجسيمي ، ثم المسح التصويري الفضائي ، والتصوير الميكروسكوبي والتصوير الطيفي (أو تصوير الأشعة السوداء) . . . الخ .

ان التصوير الكهربائي كان هو أيضاً يعتبر داخلاً في علم البصريات ، فالخلايا التصويرية الكهربائية تمكن من استكشاف الاشعاعات ثم تصويرها بشكل كامل .

كما يلتحق بهذا المجال انتاج بلورات الإبصار ، واعداد العدسات ، والمرايا والمؤشرات وأساليب الحساب الإبصاري للأنظمة ، وكذلك درس المشاريع ، وصنع ومراقبة الأدوات البصرية ، وعدة تخصصات متنوعة تدخل تقنية الإبصار ، وكلها تتطلب تعاوناً علمياً عالي التخصص .

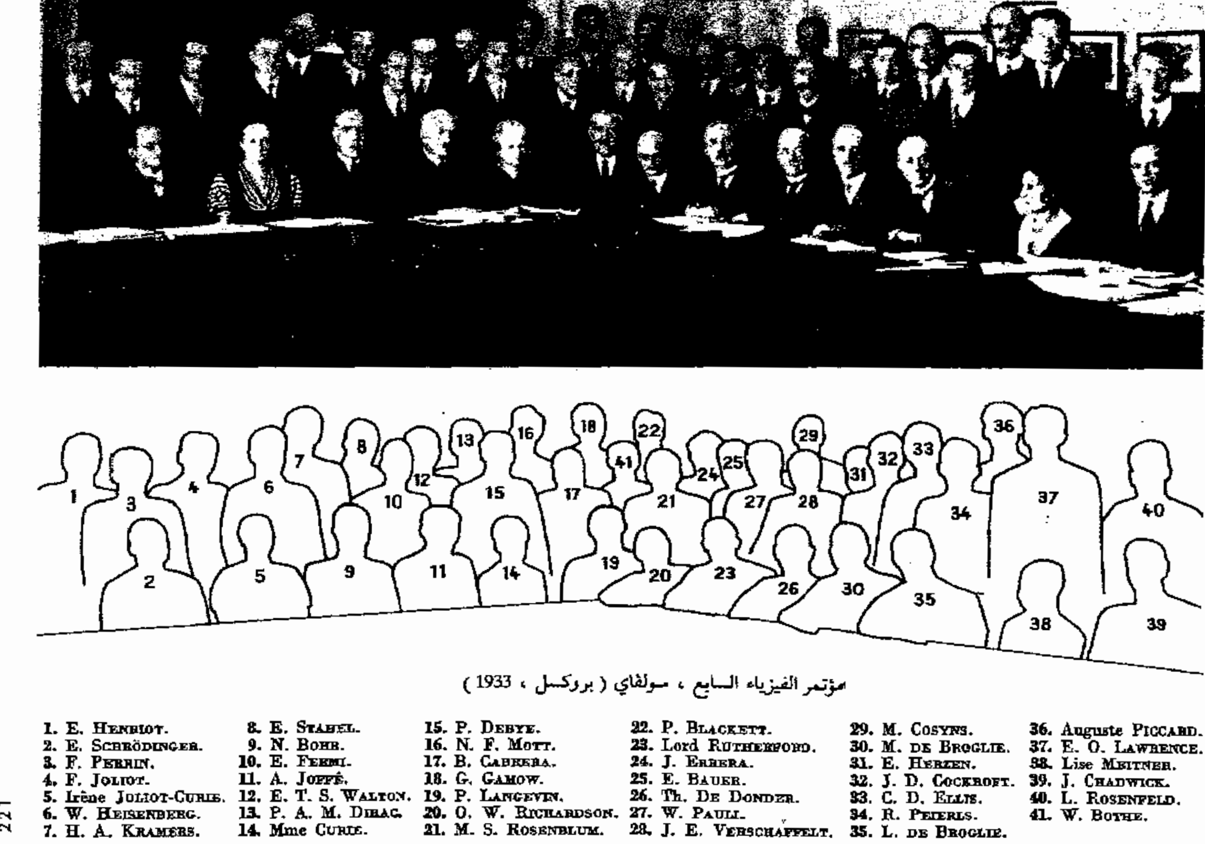
ويجب ان نذكر أيضاً انه في العديد من القطاعات تلعب أدوات الإبصار دوراً مساعداً مهماً ـ مثل المناظير والتلسكوبات في علم الفلك ، وأدوات التصويب في الجيوديزيا (علم الجاذبية الأرضية) وفي الطوبوغرافيا (علم الاراثة) ـ ، وبعض العلوم مثل علم المقاييس والموازين ، وعلم المطيافية والمدخالية (علم القياس بواسطة التداخل الضوئي) ، والمجهرية (ميكروسكوبية) وعلم قياس المسافات ، الخ . لها صفة إبصارية واضحة بشكل خاص .

أزمات علم الإبصار ـ هذا الجدول يؤكد لنا على الفكرة القائلة بأن علم الإبصار كان في أزمة كاملة في القرن العشرين . في حين إنه ، من وجهة نظرية ، قد فقد استقلاله لصالح الكهرمغناطيسية ، في خضم النشاطات البشرية ، بدا وكأنه مجموع واسع من العلوم ومن التقنيات ، ذات البنية المتنافرة وفي طريق التزايد المستمر ، وأصبحت هذه الوضعية غير محمولة ، خاصة بعد تشكل قطاعات معزولة ، بعيدة بعضها عن بعض ، وحيث اتخذت نفس التعابير ونفس المفاهيم الأساسية معاني متنوعة . وأدت الأزمة إلى توضيح بطيء ، لم يفرض حتى الآن نفسه الا في الأوساط المتخصصة .

وكون علم الإبصار يوشك ان يندمج في الالكترومغناطيسية قد اثار انعكاسات مثمرة . وكان من المؤكد ، بهذا الشأن ، ان علم الابصار يتمتع بمزية خاصة وأصيلة ، تؤدي إلى اعتباره كعلم حق وليس كجزء من الكهرمغناطيسية .

ولكن التعريف بمثل هذا العلم لم يكن بالمهمة السهلة لأن التطور التاريخي الذي أوصله إلى هذه الضخامة قد شوّه طبيعة الظاهرة الإبصارية بالذات .

الابصار ، الفوتوغرافيا والفوتوكهرباء ـ الواقع انه تجب العودة إلى الينابيع والنظر إلى علم الابصار كعلم مرتبط بالعين البشرية ومختص بدراسة ظاهرات الرؤية ، والضوء ، واللون والصور حيث تتدخل العين . ومثل هذا العلم لم يكن ولا يمكن أن يكون على الأقل الآن فصْلاً من علم الكهرمغناطيسية .



مؤتمر الفيزياء السابع ، سولفاي (بروكسل ، 1933)

1. E. Henriot.
2. E. Schrödinger.
3. F. Perrin.
4. F. Joliot.
5. Irène Joliot-Curie.
6. W. Heisenberg.
7. H. A. Kramers.
8. E. Stahel.
9. N. Bohr.
10. E. Fermi.
11. A. Joffé.
12. E. T. S. Walton.
13. P. A. M. Dirac.
14. Mme Curie.
15. P. Debye.
16. N. F. Mott.
17. B. Cabrera.
18. G. Gamow.
19. P. Langevin.
20. O. W. Richardson.
21. M. S. Rosenblum.
22. P. Blackett.
23. Lord Rutherford.
24. J. Errera.
25. E. Bauer.
26. Th. De Donder.
27. W. Pauli.
28. J. E. Verschaffelt.
29. M. Cosyns.
30. M. de Broglie.
31. E. Herzen.
32. J. D. Cockroft.
33. C. D. Ellis.
34. R. Peierls.
35. L. de Broglie.
36. Auguste Piccard.
37. E. O. Lawrence.
38. Lise Meitner.
39. J. Chadwick.
40. L. Rosenfeld.
41. W. Bothe.

وهكذا بدأ علم البصريات يفقد صفته كعلم فيزيائي ، ليقتصر عملياً على قطاع البصريات الفيزيولوجية الكلاسيكية . ولكن الوضع كان في الواقع أكثر تعقيداً . فعلم البصريات ، بمفهومه الكلاسيكي ، يهتم بظاهرات من النمط التالي : مصدر مادي يطلق اشعاعات ذات أطوال موجات متنوعة ، اشعاعات تنعكس ، وتنحرف ، وتنتشر ، الخ . بفضل أجسام مادية أخرى ، وأخيراً يلتقطها لاقط يكشفها . أحد هذه اللواقط هي رقاقة حساسة تصويرياً تصاب ، بفعل الاشعاعات بتشوّهات ذرية أو تحت ذرية . ثمّ بعد « التحميض » والتثبيت ، تعطي صورة بالأسود والأبيض . ولاقط آخر هو الخلية الكهرضوئية ، التي تتلقى تحت تأثير الاشعاعات تغييرات الكترونية ، فإذا أدخلت ضمن جهاز خاص ولدت تيارات كهربائية . ولاقط ثالث هو العين البشرية التي تحول المثيرات الاشعاعية المتلقاة إلى قطارات من الدفق العصبي ، وهذا الدفق يرسل إلى الدماغ عن طريق الأعصاب البصرية ، ثم يعمم على الوعي أو النفس عند الراصد . ويحللها الوعي ، ثم يقارنها بالمعلومات المحفوظة في الذاكرة والآتية عن طريق أعصاب أخرى حساسة ، ثم يعرضها بواسطة صور ضوئية ملونة ، ومتموضعة أمام العين ، صور تشكل العالم الخارجي ، كما يراه كل منا .

هذا وان التفاعلية الفوتوغرافية تقوم أساساً على تفاعلات فيزيائية كيميائية ، في حين ان التفاعلية الكهرضوئية هي ذات طبيعة الكترونية . ان التفاعلية الوحيدة الحقة هي إذاً تفاعلية رؤية الضوء واللون والصور بواسطة العين . ويتعلق الأمر بسلسلة معقدة من الظواهر ذات طبيعة مثلثة : طبيعة فيزيائية فيما يتعلق ببث الاشعاعات بواسطة ذرات مادية وانتشارها انطلاقاً من المصدر حتى شبكة العين عند الراصد ؛ طبيعة فيزيائية كيميائية وفيزيولوجية فيما يتعلق بسلوكية القسم الشفاف في العين الداخلية وراء الشبكية ، وبكيفية عمل هذه الشبكية ، ثم النقل العصبي ؛ وأخيراً طبيعة سيكولوجية في المرحلة الأخيرة من الظاهرة الإبصارية : تصور وتحديد مكان الصور الضوئية والملونة في عالم الظاهر .

إبصارية الرؤية ـ بعد هذا التصنيف الأساسي ، بدا الإطار العام لعلم البصريات في منتصف القرن العشرين أكثر عقلانيةوتنظيماً من مجمل ما كان عليه من إطار غير محدد وغير متماسك في مطلع القرن . ان هذا الترتيب والتنظيم كانت له نتائج مهمة .

ففي بادىء الأمر لم يعد علم البصريات الفيزيائي داخلاً ضمن هذا النطاق : ان البحث عن طبيعة الاشعاعات أصبح مسألة عامة تعنى بها كل مجالات الفيزياء حيث تتدخل الموجات الكهرمغناطيسية بما يسمى فيزياء الاشعاعات . فضلاً عن ذلك ازدادت استعانة علم الإبصار الجيومتري بصيغته الرياضية الخالصة ، بعد ان قلّ تماسه مع التجربة .

وشكلت العلوم المتنوعة ، المتعلقة بالتلقي عن طريق اللدائن الحساسة تصويرياً ، هيكل نظرية مستقلة سميت الفوتوغرافيا مع ما يتبعها من تقنيات مرتبطة بها . وهناك هيكل نظرية مماثلة هو علم الكهرضوئية ، ويشتمل على الدراسات التي تتناول الكشف بواسطة الخلية الكهرضوئية .

اما علم البصريات البحت ، والمعرّف بعلم الرؤية فيشتمل على كل المواضيع المتعلقة بكيفية عمل العين البشرية ، بعد استخدام معطيات فيزياء الاشعاعات ، وبعد تطوير دراسة كيفية

عمل مختلف أجزاء جهاز الرؤية . ويضاف إلى فيزيولوجيا العين دراسة التصور السيكولوجي للمؤثرات الفيزيائية ، التي ظهرت أهميتها الرئيسية عندما ثبت ان الضوء والألوان والصور لم تكن الا معطيات سيكولوجية . من جراء هذا فقد علم البصريات الصفة الفيزيائية التي أسندت إليه حتى ذلك الحين ، واعتمد بنية فيزيائية وفيزيولوجية وسيكولوجية ، محكومة بالمظهر السيكولوجي الذي هو نهاية عملية الرؤية .

ان استكشاف الطبيعة النفسانية للضوء والألوان حتم إعادة النظر في تعريف الفوتومتريا أي قياس الأشعة ، وعلم قياس الألوان المعتبرين حتى ذلك الحين كفرعين من فروع الفيزياء . وقد مكن هذا التحليل من توضيح بعض الاشكالات . فإذا كان الضوء الذي نراه هو كينونة نفسانية تستعصي على كل قياس فيزيائي ، فقد أمكن على كل حال تحقيق مثل هذه القياسات وذلك برسم نفسية الراصد ، رسماً اصطلاحياً ، وذلك بتعريف « العين الوسطى » المزودة بسمات محددة انطلاقاً من قياسات أخذت من عدد كبير من العيون الحقيقية . ان ضوء الفوتومتريا يتعلق بالاشعاع الذي يحاول التعبير عمّا يراه راصد (مشاهد) له عينان وسطيان ، وإذاً فهذا الضوء هو ضوء اصطلاحي .

وهناك ملاحظة مماثلة يجب ان تدرج بالنسبة إلى قياس الألوان . لا توجد الا تبعاً لحالة الراصد النفسانية الذي يمثل عن طريق الألوان بعض السمات ، التي ما تزال غير محددة تماماً ، وهذه السمات تتعلق بالاشعاع الذي أثر في الشبكية . ولهذا فقد بذلت الجهود من أجل وضع مختصر اصطلاحي للتدخل الفيزيولوجي السيكولوجي لدى الراصد ، وكذلك أيضاً البنية الطيفية للاشعاع المنير . وبعد استبعاد تدخل الراصد فعلياً ، تم وضع قواعد من أجل قياس الألوان أي قياس بعض الشروط الفيزيائية التي تحمل راصداً ما وسطياً على رؤية بعض الألوان المحددة . هذه الطريقة الاصطلاحية كانت مجدية بشكل خاص في نطاق التطبيقات . ان هذه الموضعة للدراسات الإبصارية ، عن طريق استبدال التدخل الفيزيولوجي السيكولوجي ، لدى الراصد ، باصطلاحات ما ، كانت في الواقع أوسع مما كان يظن . إذ بالفعل استعملت هذه الطريقة سابقاً في مجالات أخرى من علم الابصار ، ولكن هذا الحدث قد نسي لصالح واقع يعتبر كحقيقة تجريبية الشيء الذي لم يكن الا مجرد اصطلاح .

ذلك هو بشكل خاص حال علم الإبصار الجيومتري . ان أناقة هذا البناء الرياضي الهادف إلى تعريف موقع وشكل الصور المقدمة بفضل الأنظمة الابصارية ، حملت على الاعتقاد بان التجربة تتيح رؤية الصور تماماً الا في حالات استثنائية . ان أشكال وموقع الصور المرئية تختلف من راصد إلى راصد ، وتتعلق بالتجربة وبالقدرات النفسانية لدى الراصد .

ان الصور التي تتناولها قواعد علم الابصار الجيومتري ، تستنتج من فرضية ضمنية تعود إلى كبلر وتسمى « قاعدة المثلث ذي الأبعاد القياسية » والذي يؤكد ان الراصد يرى نقطة مضيئة في قمة المخروط المؤلف من أشعة تصل إلى العين . رغم ان هذه القاعدة تميزت بانها نظمت علم الابصار الذي كان غامضاً جداً في القرن السادس عشر ، إلا أنها لم تكن الا مجرد طرح عملي لا

يمكن تحقيقه الا نادراً . فالنقطة المضيئة التي يراها الراصد عندما تصل إلى عينه أشعة صادرة عن منبع نقطي الشكل ، يمكن ان تحدد النفسية موقعها في أبعاد مختلفة جداً عن الأبعاد التي تنص عليها هذه القاعدة . فالصور التي درسها علم الابصار الكلاسيكي لم تكن إذاً الا كينونات اصطلاحية لا تنطبق بصورة أفضل على النتائج التجريبية مما ينطبق ضوء الفوتومتريا أو ألوان علم الألوان . هذ العمل الانتقادي ، الرامي إلى إعادة تنظيم الأفكار الأساسية في علم الابصار الكلاسيكي ، أثبت التيار المبالغ به في القرن التاسع عشر والرامي إلى جعل العديد من العناصر ذات الطبيعة النفسية الخالصة مواضيع أي أشياء فيزيائية ، وفي هذا ارتكاب لخطأ فلسفي أكيد كانت له نتائج نظرية مهمة وحتى تقنية .

التعاريف الجديدة لمفهوم الصورة ـ ان رد المفاهيم الأساسية إلى مجالها الطبيعي أدى إلى وضع تصنيفات جديدة مهمة للغاية كتصنيف الصور مثلاً .

ان علم الابصار الكلاسيكي لم يكن ينظر إلا إلى الصور المحددة كمكان لذرى المخروطات المنبثقة عن نظام ابصاري (أو عن مكان مراكز الموجات التي تنبثق عن هذا النظام) . وكل التحليلات كانت تتناول بنية هذه المحاور الجيومترية ، باعتبار الكشف عن الصورة مجردة وسيلة من شأنها التأكيد على توقعات الحساب الارتمتيكي أو البناء الجيومتري . ان المفاهيم الجديدة قد أتاحت تصحيح هذه الأفكار بعد إثبات طبيعة مختلف الكينونات المعتبرة ، فقد نظر في بادىء الأمر إلى صدور الطاقة المشعة ، أو الاشعاع الصادر عن جسم هو الموضوع ثم انتشار هذا الاشعاع (نحو الجهاز البصري ، عبر هذا الجهاز وإلى أبعد منه) إلى أن تتوزع الطاقة التي تشكل الصورة في منطقة ما ذات بنية من طبيعة فيزيائية ، انها الصورة الأثيرية . وتعطي قواعد الابصار الجيومتري ، أو الألغوريتم التذبذبي ، عن هذه البنية تصويراً موجزاً ذا طبيعة رياضية هي الصورة المحسوبة التي توضحت المعرفة بها بعد اعمال مختلفة . وعلى الصعيد التجريبي ، تبلورت الصورة بواسطة تركيبات من شأنها التأثر بالاشعاع . واعتبرت الصور المكشوفة على هذا الشكل ، ذات طبيعة متنوعة تختلف باختلاف اللاقط المستعمل : فهي ذات طبيعة كيميائية بالنسبة إلى الصورة الفوتوغرافية ، وهي ذات طبيعة الكترونية بالنسبة إلى الصورة الكهربائية ، الخ . ان العين البشرية تعطي تصورات ضوئية وملونة ، تتموضع في الفضاء الظاهر كاشباح ذات طبيعة نفسانية هي الصور المرئية . هذه الصور الخمس الأثيرية والمحسوبة والفوتوغرافية والتصويرية الكهربائية والمتطورة هي ذات طبيعة مختلفة جداً بحيث تستحيل المقارنة فيما بينها .

وفي بداية القرن التاسع عشر ساد الاعتقاد بأن الصورة المحسوبة هي تمثيل صحيح غير قابل للجدل للصورة الأثيرية ، وكان العلماء لا يعطون للصور المكشوفة الا قيمة ضئيلة ، بسبب ما يعتري هذه العملية من شكوك ومن نواقص . اما النظرية الحالية فتختلف جداً فالصورة الأثيرية هي صورة افتراضية خالصة ، اما الصورة المحسوبة فليست الا تمثيلاً مختصراً وغير كامل لهذه الصورة الأثيرية . والصورة المكتشفة كانت تعتبر الصورة الوحيدة التي تستحق الاهتمام بحق . ولكن طبيعتها ، وهنا يكمن تجديد تصوري مهم ، تختلف تماماً عن طبيعة الصورة المحسوبة . فضلاً عن ذلك ان الصورة المكتشفة بحكم تعلقها بالصورة الأثيرية وبسمات اللاقط ، فهي تستعصي على

التعريف ، حالها في ذلك نظرياً كحال الصورة المحسوبة المعتبرة في ذاتها بمعزل عن كل لاقط .

علم الابصار الطاقوي ـ أتاحت هذه التأملات توضيح المفاهيم الأساسية في علم الابصار وفي الفوتوغرافيا وفي التصوير الكهربائي . وكون جواب مختلف اللواقط يتعلق ـ بشكل غير خطي ـ بزخم الاشعاع الساقط ، فان بنية الصورة البادية تتعلق ليس فقط ببنية الصورة الأثيرية وبنية اللاقط ، بل تتعلق أيضاً بالطاقة المركزة في هذه الصورة . من ذلك ان جهازاً فوتوغرافياً معيناً ، يستخدم صفائح (بلاكات) متشابهة ، يعطي صوراً مختلفة لنفس الشيء بحسب مدة العرض ؛ وكذلك الناظر الذي يراقب شيئاً معيناً يرى صوراً مختلفة جداً بحسب درجة الإضاءة .

وهكذا تولد فرع جديد في علم البصريات اسمه علم « البصريات الطاقوي » الذي يثبت علم كفاية علم البصريات الكلاسيكي ، ويثبت أيضاً الاخطاء العديدة والخطيرة الناتجة عن تداخل المسائل وعن الفرضيات النظرية . وقد استفادت تقنية الأدوات أيضاً من هذا التصور الجديد ، وأصبح العديد من المسائل التقنية المتروكة حتى ذلك الحين للتجربة ـ أي للاختبار ـ يعالج اليوم بتحليلات نظرية جد مفيدة وتتناسب مع الواقع .

التعريف الجديد للقدرة الحلية (Pouvoir résolutif) ـ وهناك نتيجة أخرى مهمة جداً حصلت وهي التغيير العميق الذي أصاب أحد المفاهيم التي سادت في علم البصويات الكلاسيكي ، ابتداء من نهاية القرن التاسع عشر ، الا وهو المقدرة الحلية (أو المصرِّفة) .

وبالارتكاز على نظرية الموجات توصل ارنست آبي E. Abbe في المانيا ولورد رايلي Rayleigh في انكلترا ، وعن طريقين مختلفين ، إلى تبيين ان الصورة (كما كانت تعتبر يومئذ) التي يقدمها جهاز بصري لا يمكن ان تكون دقيقة دقة لا حدود لها : اذ بفعل ظاهرات التداخل والانحراف ، تكون للصورة بنية تتوارى فيها خصوصيات الشيء بعد حدٍ محدودٍ ، يسمى القدرة الفاصلة أو القدرة الحلية . فعندما يخلو الجهاز البصري بشكلٍ كافٍ من شوائب البناء ومن الزيغان البصري ، تتعلق القدرة الحلية فقط بمرتكزين أو معيارين ، طول موجة الاشعاع المستعمل ثم عنصر جيومتري في الآلة : القطر المفيد في شبحية المنظار ، قاعدة الموشور أو العدد الكامل للخطوط في المطياف « سبكتروسكوب » ، الخ .

وخلال عدة عقود ، ظلت هذه النظرية تعجب لتماسكها ، وأناقتها وفائدتها في مفهوم الآلات ، ودراستها وتمايزها . وجرت العادة على مقابلة « القدرة الحلية النظرية » ، المحسوبة بحسب هذه القواعد ، « بالقدرة الحلية الفعلية » ثم تقييم الكمال والقيمة التجارية لآلة تبعاً للتوافق الملحوظ بين هاتين القيمتين . ولكن التجربة لا تنطبق غالباً مع هذا المفهوم ؛ في أغلب الحالات تتعلق القيم بالظروف وبالشروط التجريبية . ولهذا فقد طبقت طريقة اصطلاحية ، شبيهة بالطريقة التي استعملت في الفوتومتريا (التصوير القياسي) وفي التلوين القياسي وفي الابصار الجيومتري ، بعد ترسيخ الشروط التجريبية للقياسات . ولكن بعض المنظرين في الابصار الكلاسيكي لم يلاحظوا هذه الحاجة إلى اللجوء إلى تقديرات اصطلاحية للعناصر الطارئة تدل على ان القدرة الحلية لم تكن ميزة للأداة ، ولكنها تتعلق بعوامل أخرى مجهولة .

وأدى توضيح الافكـار حول طبيعـة الصور إلى تـوضيح مفهـوم « القدرة الحليـة » . فكان ان افترض ان كل نمط صورةٍ له قدرته الحلية الذاتية . في حين ان قدرة الصـورة الاثيريـة لا يمكن ان تُعـرف ، والقدرة التي عـرّفها لـورد رايلي وآبي هي في جورهـا قدرة الصـورة المحسـوبـة ، القدرة المحصول عليها بواسطة فرضية تُحِلُّ محلَّ اللاقط نموذجاً اصطلاحياً خالصاً . ان القدرة الحلّيـة ، الفعليـة ، المقاسـة تجريبيـاً على الصـورة المكتشفـة ، تـرتبط بهـذه الصـورة ، وهي مثلهـا تتعلق بالسمات الحساسة في اللواقط وبالشروط الطاقوية التجريبية . ان العامل الاكثر أهمية الذي اهملتـه الكـلاسيكية هـو الـطاقـة العـاملة ، وهـو عـامـل كثيـر التغيـر مسؤول إلى حـد كبيـر عن التغيـرات الملحوظة .

ان مفعول الاشعاع على طبقة كاشفة لا يظهر الا اذا كان الاشعاع النازل فوق عتبة الاحسـاس وتحت حد الاشباع . ان القدرة الحلية العملية تتغير إذاً تبعاً للطاقة المتاحة ، الصـاعدة من الصفـر حتى حد أعلى ، لتعود فتنزل بعدها إلى الصفر . من هذه الواقعة ، لا يمكن ان نحكم على نوعيـة اداةٍ ما من خلال العلاقة القائمة بين القدرة الحلية المحددة تجريبياً والقدرة الحلية النظرية .

وهكذا تغيرت البنية الذاتية لعلم الابصار تغيراً عميقاً بخلال القرن العشرين . ان تاريـخ علم البصـريات ، وقـد رسم وفقاً للمخـطط القـديم ، اتسـع فشمـل نـطاقـاً واسعـاً دخلت فيـه فيـزيـاء الاشعاعات ، والفوتوغـرافيا والكهـرضوئيـة . وإن نحن نظرنـا إلى علم الابصار من خـلال تعريفـه الجديد فإننا سوف نقتصر عند الدراسات التي تتعلق بالبصريات المعتبرة كعلم رؤية فقط .

تطور فيزيولوجيا العين ـ كانت البحوث الجارية من أجل تحديد ردة فعل العين البشرية تجاه المؤثرات الاشعاعية مثمرة بشكل خاص . فمعرفة بنيـة الشبكية والاعصـاب البصريـة قد تـوضحت هي أيضاً في حين صدرت فرضيات متنوعة حـول سلسلة ردات الفعل التي تبـدأ في الشبكية حينمـا تصطدم بالاشعاع ، وتنتهي بارسال الموجة العصبية عبـر الاعصاب البصـرية . وكـذلك تـطوّر علم التسجيـل الكهربـائي لما يجـري في الشبكية أو تسجيـل الظاهـرات الكهربـائية المـرتبطة بـالتهييج الشبكي تحت تأثير الاشعاعات (أنظر الفصل 2 من القسم الرابع) . وامكن الحصـول على نتائـج مفيدة في دراسة ردة فعل الشبكية على المؤثـرات المتنوعـة عبر الـوقت (الرفـرفة) وعبـر الفضاء . فعندما يكون هذا التنوع متدرجاً ، لا يكون التـأثير خـطياً ، كمـا تحدث أيضـاً تشـويهـات ، خاصـةً عندما يبدأ الميل (gradient) وينتهي : عندئذٍ ترى « خطوط ماش (ماخ) » التي لم تكن بعد مفسَّرة تفسيراً دقيقاً .

وكـانـت البحوث حـول العتبات المـطلقة أو النسبيـة ، في الاحسـاس ، والتكيف ، والتضبيط والربط بين مختلف الوظائف الشبكية ، وخصائص العين الأخرى المتنوعة ، مـوضوعَ دراسـات من قبـل العديـد من الباحثين الفـزيولـوجيين والابصاريين ومن بينهم يجـب ان نـذكر بشكل خـاص أ . غـولستـرانـد Gullstrand ، وهـ . ث . هـارتـلاين Hartline ، وي . د . ادريـان Adrian ، ور . غرانيت Granit ، وي . لوغران Le Grand .

تطور علم الابصار السيكولوجي ـ إن دراسة التصور السيكـولوجي للمؤثـرات التي تفعل في

العين ، أي في الواقع لبنية العالم الظاهري ، قد لقيت دفعةً قوية من قبل علماء النفس . وتبقى القضية الأساسية هي تحديد العلاقات القائمة بين العالم الظاهري والعالم الفعلي : أي بعد رؤية الإنسان للأشياء ، يتوجب معرفة ما هو حاصل فعلاً .

لقد تبين بشكل خاص إن العالم الظاهري هو أصغر بكثير من العالم الفعلي ، وأن التقلص إذا قيس باتجاه شعاع بصري من خلال العلاقة بين طول قسم من خط ظاهري عامودي على هذا الشعاع وطول القسم الحقيقي المطابق له يبقى قريباً من الوحدة عبر مسافة تقارب العشرين متراً امام المراقب ، ثم يتناقص التقلص لكي ينعدم بالنسبة إلى مسافة تساوي الشعاع الظاهر في قبة السماء . هذه العلاقة لما كانت أقل في الاتجاه العامودي فالتقلص يكون محسوساً أكثر في هذا الاتجاه . وهذه المظاهر العديدة والأوهام تفسر بفضل هذه الأوالية في التصور النفساني لعالم الواقع . إن رؤية العمق ، والنافر وحركة الصور النفسانية كانت موضوع بحوث مهمة . وكذلك الحال في ادراك الالوان وفي تغيرات اللون تحت تأثير بعض العوامل ، مع بقاء البنية الطبقية للاشعاع النازل ثابتة لا تتغير ؛ ولكن هذه المسائل الخاصة لا يمكن اعتبارها حتى الآن محلولة . وهذه الواقعة تُعزى بشكل خاص إلى أن المظهر السيكولوجي في الابصار قد ظل مهملاً لمدّة طويلة، وأن قسماً كبيراً من هذه الاعمال الحالية مخصص لاستبعاد المعتقدات القديمة حول الطبيعة شبه الفيزيائية لبعض الظاهرات . هذا العمل الانتقادي كانت له نتائج حسنة تكشف بشكلٍ خاص عن الفروقات المهمّة في أكثر الاحيان والموجودة بين الابعاد ومسافة الصور المرصودة ، والصور المحسوبة .

التقدم في علم النظارات ـ إن صناعة النظّارات مرتبطة بعلم وظائف العين وهي تهدف ، إلى تصحيح الجهاز البصري في هذا العضو بحيث تحصل صورة نفسانية أكثر دقة وأكثر واقعية لعالم الواقع .

في بداية القرن العشرين كانت صناعة النظارات متقدمة ، ولكن قياس الرؤية ، وإعداد العدسات ، وصنع النظارات بقي محافظاً على سمته الحرفية الخالصة . وعدسات وللاستون Wollaston وعدسات اوستولت Ostwalt ، رغم أنها داخلة نظرياً في مخطط تشيرنين Tscherning ، فقد بقيت قليلة الاستعمال . واساس العدة كان يتكون من عدسات متساوية الضعلين مزدوجة الاحديداب أو مزدوجة التقعّر سهلة الصنع واقتصادية . أمّا العدسات الخاصة الكروية الاسطوانية ، أو الموشورية أو المزدوجة البؤرة ، أو الملونة في كليتها ، فقد كانت نادرة جداً وقليلة الاستعمال .

وقياس الابصار ، أو التحديد الكمي للزيغان البصري ، القابل للتصحيح بواسطة الزجاجات ، قد تحقّق بشكل فج ، واقتصر على الانحرافات الأكثر بساطة . ولكن في الربع الأول من القرن العشرين فرضت عدسات أوستولت نفسها لانها أتاحت توسيع مجال التصحيح البصري بشكل ضخم . وعبر السنوات التالية أتاحت زيادة قطر إطارات النظارات الاستفادة من الخاصية الموجودة في هذه العدسات الجديدة . وبذات الوقت ، تحسنت عملية قياس الرؤية ، كما تحسن

تصحيح التشابك الاشعاعي في عدسة العين ، وكان هذا التصحيح استثنائياً تقريباً في السابق ولكنه بلغ حالاً من الدقة غير متوقعة .

وانتشر استعمال العدسات الخاصة ، الكروية الاسطوانية أو حتى الطوقية بسرعة . وكانت العدسات المزدوجة البؤرة من أجل تصحيح البعد النظري قد صُنعت واستخدمت بمهارة متزايدة وانتشر استعمالها . وتم أيضاً صنع عدسات مثلثة البؤر ، أو ذات تغير دائم في القوة ، من أجل تحصيل رؤية قريبة وبعدية ميسرة ، شبيهة برؤية الأشخاص المزودين بالتضبيط . اما العدسات الانتقائية ، التصحيحية أو غير التصحيحية ، فقد عرفت تطوراً ونمواً أدهشت ضخامته التقنيين . ومن أجل ارضاء ذوق الجمهور ، ومن أجل تحقيق حماية فعالة ضد الاشعاعات الخطرة ، أو المزعجة قليلاً (مثلاً الأشعة فوق البنفسجية) تكاثرت انماط العدسات والزجاجات الملونة في كتلتها ، تلويناً غزيراً ومتنوعاً ، مع أشرطة امتصاص شديدة التنوع . وأتاح صنع عدسات مسطحة لصق قشرة زجاجية ملونة على عدسة عديمة اللون لتفادي ازعاج تشكيلة من التلوين ومن الشفافية بالنسبة إلى العدسات ذات القوة العالية . وأخيراً أتاحت طريقة الاسقاط الجزيئي لمواد ملونة في فراغ مكثف التوصل إلى تقدم تقني جديد . وتعتبر بعض العدسات في النظارات الحالية تحفات ، بفضل أهمية البحوث العلمية التي تسببت بها ، وبفضل تنوع التحسينات التقنية التي أدخلت عليها . نشير أخيراً إلى ابتكار عدسات اللصق (ل . هين Heine 1931 ، ج . دالوس 1933 Dallos ، الخ) .

إعادة تنظيم التصوير القياسي (الفوتومتريا) والتلوين القياسي ـ خلال القرن العشرين أعيد تنظيم التصوير القياسي بشكل كامل . وهي مهمة ثقيلة جداً لأن تعريف المعيار الأساسي ، والمقادير الأساسية ووحدات القياس اقتضى بحوثاً طويلة وعدة اصلاحات متتالية . وفي المجال التجريبي ، استبدلت آلات التصوير القياسية الكلاسكية ، والتي تستعمل العين البشرية ككاشف ، بمقاييس تصويرية ذات خلية كهرضوئية ، وتم ذلك بصورة تدريجية . وكانت بعض الخلايا تتجاوب مع كل الاشعاعات التي تؤثر على العين البشرية ؛ وأية خلية منها لم يكن لها ردة فعل مماثلة كمياً لردة فعل العين البشرية ، ولكن إضافة يبعض المصافي الابصارية التصحيحية قد أتاحت الحصول على ردة فعل مع الاشعاعات الابصارية (ومعها فقط) ، ردة فعل قريبة جداً من التجاوب المطلوب . وجعلت هذه النتيجة علم الفوتومتريا أكثر دقة وأكثر تطبيقية ، كما جعلت حقل تطبيقه أكثر اتساعاً . ولكن هذا الأسلوب الفيزيائي والاصطلاحي أهمل الناحية الفيزيولوجية السيكولوجية لعملية الرؤية ، وبصورة خاصة العملية المعروفة المسماة عملية تكيف الشبكية مع الظلام ومع النور ، والتي تجعل الرائي يشعر بأحاسيس مختلفة ضوئية في حين يعطي المقياس التصويري أي الفوتومتر نتائج متساوية .

وهناك ملاحظات شبيهة يمكن ادراجها بشأن قياس الالوان . بخلال العقود الأخيرة (من النصف الثاني من هذا القرن) جرت اتفاقات دولية عديدة من أجل قياس اللون . لا شك ان اللون الحقيقي لا يمكن قياسه بطرق فيزيائية . فهذا العصر النفساني يختلف بين ملاحظ وملاحظ ويختلف بالنسبة إلى المراقب الواحد بين وقت وآخر وبين عين وعين . ولكن بالنسبة إلى التطبيقات

العمليـة العديـدة من المفيد قيـاس الشروط الفيـزيائيـة التي ترى لـوناً معينـاً لعين وسـطيـة . ودلت البحوث التي جرت في هذا السبيل بأن رؤية الألوان تتعلّق بثلاثة معايير .

هذه المعايير يمكن ان تعرّف بأشكال مختلفـة : اما بـواسطة ثـلاثة ألـوان أساسيـة إذا مزجت ضمن نسب معينـة ، تعطي كـل لون مبتغى ؛ واما مثـل شحـوب اللمعـان ، درجـة اشـراق اللون والاشباع ؛ واما أيضاً من خلال ثلاث احداثيات هي Z, Y, X التي يساوي مجموعها الوحدة ـ والتي تكـون اثنتان منهـا نقط مستقلتين ، بفعل هـذه الواقعـة ـ فيتحدد اللون بنقـطة واقعـة في فضـاء ذي بعدين هو مثلث اللون .

وعلى الصعيد التجريبي كانت مقاييس الألوان تستعمل عين الرائي كلاقط ، ولكنها استبدلت بصورة تدريجية بأدوات ذات خلية كهرضوئية مزودة بمقاييس شبيهة بالمقـاييس المستعملة في قياس التصوير أو الفوتومتريا أي بالاقتصار على القياس الاصطلاحي للشروط الفيزيائية التي ترى فيها عين وسطى لوناً معيناً .

علم الابصار التقني الجديد ـ في القرن العشرين حقق علم الابصار التقني تقـدماً ضخمـاً ، وترتكز هذه التقنية الدقيقة جداً على معايير عقلانية خالصة وعلى معايير علمية .

لقد صنعت المناظير الفلكية الأولى في مطلع القرن السابع عشر من قبل نـظاراتيين استعملوا لهذه الغاية فقط العدسات التي كانت معروفة والتي كانت ميسرة الصنـع وهي عدسـات النظارات . وكانت النتائج الحاصلة تافهة فتكبير المعدات المستعملة لم يكن يتجـاوز ثلاثـة . وبعد هـذا الحد كانت الصور تبدو مشوهة للغاية وغير مميّزة .

وفهم غاليلي ، وكان الاول في ذلـك ، الحاجـة إلى تحسين هذه التقنيـة . وعالـج المسألـة علمياً . فرفع نسبة التكبير في المنظار الفلكي إلى أكثر من ثلاثين . وبعد ذلك بقليل ولدت التقنيـة الجديدة المسماة « أوبتيك الـدقة » وانجـز توريشلي في هـذا المجال انجـازات رائعة . وعلى كـل حال وطيلة قرنين ونصف استمر العمل العشوائي تقريباً في أغلب الأحيان على أساس الملاحـظات التجـريبيـة ، « مـع الاحتفـاظ بـاسـرار المعلّمين » . وحتى بعـد النجـاحـات التي حققهـا دولنـد Dollond ، عنـدما تم انجـاز أجهزة ابصـارية نقيـة من الـزيغـان اللوني بفضـل المـزج بين مختلف الزجاجات الابصارية ، وهي الزجـاج الصواني والـزجاج التـاجي الشديـد النقاء ، ظـل صنع هـذه النظارات تجريبياً وغير منتظم ومكلفاً . وانـه فقط في النصف الثاني من القـرن التاسـع عشر بـدأت دراسات ليون فوكولت Léon Foucault ثم دراسات اللورد رايلي توضـح العناصـر الضروريـة ، من جهة للحصول على سطوح قريبة جداً من السطوح التي كانت تعرّفها النظرية بتعابير جيومترية ، ومن جهة أخرى توضيح العناصر الضـرورية لتجـانس عجينة الـزجاج المخصصـة لإبصار الـدقة . هـذه الدراسات لم تنل نهايتها المنطقية الا في القرن العشرين . وقد تبين فعلاً ان شكل سـطوح مختلف القطع الابصارية ، وانتظامية الاوساط المقـطوعة يجب ان تؤمن ثبـوتية الـطريق الابصاري لمختلف الموجات مع تنوع شامل أدنى من كسر من طول الموجة ، مما يضع التسامح في نظامية السـطوح ، بما يعادل تقريباً μ 0,1 (0,1 ميكرون) .

وهذا يفسر الصعوبة التي اعترضت التقنيين في القرون الماضية الذين توجب عليهم تحقيق سطوح ذات هذا المقدار من التسامح ، دون ان تكون لديهم فكرة ولو تقريبية ، وخاصة دون ان يقدروا على تحديد الانحرافات المحتملة والتصحيحات الواجبة من الناحية العملية . وبالمقابل ، وعبر العقود الأخيرة ، تمّ وضعُ طرق نظرية ووسائل تجريبية تتيح للصانع ان يقدّر بسرعة وبدقة أيضاً نوعية زجاج الابصار كما وتصحيح السطوح الخاصة والسمات الاجمالية في الجهاز البصري الحاصل . وهذه النتائج المهمة تنبثق عن تطبيق قواعد نظرية الموجات وعن استعمال ظاهرات التداخل ، والتفارق والتكثف أو الاستقطاب . وتتيح هذه الوسائل تحقيق أجهزة ابصارية بأقل كلفة من الوقت ومن العمل وبشبه يقين من الوصول إلى ما يسمى « الكمال الابصاري » .

ويتبين بهذا الشأن انه عندما يتم بناء جهاز ابصاري وفقاً لهذه القواعد ، مع الدقة المطابقة ، يمكن تشبيه الطاقة في الصورة المحسوبة بالطاقة المحصول عليها بفضل نظام مثالي كامل ، على ان تكون الفروقات المحتملة محجوبة من جراء التشتت وبفعل بنية الاشعاع بالذات . ونتج عن كون كل الانتاج الحالي من ابصار الدقة قد تحقق عملياً بهذه الدقة الابصارية ، نتائج مهمة في العديد من مجالات البحث العلمي .

ويتوجب علينا ان نذكر أخيراً بان الآلات الالكترونية الحديثة تقدم دعماً ثميناً للحساب الابصاري ولاقامة أنظمة ابصارية معقدة وذات انتاجية عالية ؛ فهي تتيح بالفعل احتساب أنظمة مزودة بمميزات لا يمكن توقعها حتى في الوقت الحاضر ، من جراء تعقيد الحسابات الرقمية التي تقتضيها الدراسة .

زجاج الابصار والرقائق الناعمة ـ لقد ساهم التقدم المحقق في مجال اعداد الزجاجات الابصارية بشكل حاسم في تحقيق أجهزة ابصارية متزايدة القوة دائماً . لقد أتاح استعمال المحارق الكبرى من البلاتين تحسين انتاج زجاجات الابصار نوعاً وكماً ، مما برر بالتالي النفقات الكبيرة التي اقتضاها استعمال معدات بهذا المقدار من غلاء الثمن . وقد أتاح هذا الاستعمال أيضاً انتاج زجاجات جديدة وخاصة زجاجات تحتوي على اللانتان [حجر فلزي] ، الذي يتمتع بميزات انكسارية وتشتيتية لم تتح من قبل وحتى ذلك الحين ، وهكذا تمّ انجاز زجاجات ذات مؤشر انكساري قريب من مؤشر الماس .

ورغم النقص في الصلابة ، والقسوة ، الذي لا يسمح لمواد اللدائن المتنوعة ، حتى الآن ، من الحلول محل زجاجات الابصار ، فإنّ هذه المواد تتميز في بعض الأحوال بفضائل أكيدة .

ثم ان استعمالها سائر في طريق الانتشار : فقد سبق ان استعملت بعض الاصماغ التركيبية على مستوى واسع من أجل صنع زجاجات النظارات الخفيفة ، الشفافة جداً والتي تقاوم الكسر . ان بعض المركبات العضوية المسماة « الزجاج العضوي » هي ذات أهمية خاصة ، لانها تتمتع بمقاومة للتجرح تفوق مقاومة كل المواد البلاستيكية الشفافة المستعملة حتى وقتنا الحاضر .

وهناك أسلوب قد أعطى نتائج باهرة ، رغم عدم استنفاد إمكانياته حتى الآن ، وهو ترسيب طبقات رقيقة بالاسقاط الجزيئي في الفراغ .

ويمكن تلخيص تطبيقاته العملية الحالية كما يلي :

أ ـ **معدنة من كل نوع** ـ بينّا بشكل خاص الاهمية الكبرى التي كانت لترسيب طبقات رقيقة جداً من الالمنيوم المعدني فوق سطوح مخصصة لتستعمل كمرايا بدون زجاج داخلي . وكل المرايا الكبرى في العاكسات الفلكية الحالية مؤلمنة بهذا الأسلوب ، وسهولة ضبط سماكة الطبقات المترسبة تتيح الحصول على شفرات نصف شفافة يتناسب عامل الانعكاس فيها بنسبة معينة مع عامل النقل أو التوصيل .

ب ـ **المعالجات ضد الانعكاس** ـ من الممكن وضع طبقة رقيقة ذات سماكة مناسبة وذات مؤشر انكساري ضعيف فوق سطح عدسة أو شفرة من الزجاج ، من أجل تخفيض المعدل المئوي للاشعاعات المنعكسة بواسطة هذا السطح ؛ وهكذا يستبعد أحد الأسباب الأكثر خطورة في ضياع التيار المشع في آلات الابصار مما يزيد كثيراً الانتاجية التصويرية القياسية .

ج ـ **ترسيب طبقات متعددة** ـ تتيح هذه الطريقة الحصول على نتائج مدهشة ومفيدة جداً : يمكن الحصول على سطوح في منتهى الانعكاسية تمتلك قدرة انعكاسية قريبة من نسبة مئة بالمئة ؛ وتُصنع مرايا متعددة الانعكاسات ، تعكس كل الاشعاعات ذات الموجة الأطول من حدٍ معين (تختار حسب الارادة) وتسمح بمرور الاشعاعات التي طول موجتها أقل من هذا الحد . وامكن صنع مصاف ذات شرائط شفافة من عرض معين ـ كما تم صنع مصاف سميت وحيدة التلوين لأنها لا تترك مجالاً لمرور أي ضوء غير شريط طول موجته لا يتجاوز بعض الميليميكرونات ـ ، يوضع هذا الشريط في منطقة ما من الطيف المثبت مسبقاً .

وقد أصبح ترسب الطبقات الرقيقة عبر الاسقاط الجزيئي في الفراغ تقنية متداولة بكثرة .

نظرة حول أهم التطبيقات العملية في الابصار ـ نكتفي هنا بتقديم بعض التلميحات ذات الدلالة على تطور آلات الابصار ، أي تلك الآلات التي تخصص لتضخيم القدرة على الرؤية في العين البشرية .

ويجب الاعتراف بأن الفوتوغرافيا والكهرضوئية قد استوعبتا العديد من الآلات التي كانت في الماضي تعمل بفضل العين . وفي مجالات الفوتومتريا أو التصوير القياسي والتلوين القياسي استبعدت الأدوات البصرية تقريباً بشكل كامل لصالح الأدوات الكهرضوئية .

وفي مجال الأدوات التلسكوبية (أي الارصاد الفلكية) استُبدِل الرصد البصري ، الى حد كبير بالفوتوغرافيا التي أتاحت بفضل امكانية تطويل وقت الرصد ، تركيم اشعاعات ضعيفة جداً ترسلها النجوم البعيدة ، وهذه الميزة لا تملكها العين . ولا يمكن التغاضي عن التذكير ان المرصد الكبير في جبل بالومار Palomar والمزود بمرآة قطرها 200 بوصة (أي حوالي خمسة أمتار) يشكل تحفة التقنية الابصارية في القرن العشرين . انه عمل عملاق لا يمكن تجاوزه قبل مضي وقت طويل (أنظر الفصل 4 من القسم الثالث) .

وهناك تجديداً آخر في الآلات مهم جداً في مجال علم الفلك ، ويقوم على استعمال الشفرة

اللاكروية التي تنسب الى برنهارد شميدت Bernhard Schmidt (1930) .

انها شفرة من زجاج خاص حُسِبَ جانبها بشكل خاص لتصحيح الزيغان الكروي الحاصل في مرآة مقعّرة كروية تتلقى ضمائم الأشعة الضوئية المتوازية والآتية من الكواكب . هذه الشفرة توضع قرب مركز انحناء المرآة في حين تتم استعادة الأشعة ، ضمن السطح البؤري . وبوساطة هذا الجهاز الذي أدخلت عليه بعض التعديلات ـ ومنها تعديلات ماكسوتوف Maksutov (1941) وكولا سيفتيش Colacevith (1943) ـ أمكن صنع أدوات مضيئة بشكل خاص ، أي مزوّدة بفتحة زاوية كبيرة ، وقادرة بذات الوقت على اعطاء صور مرضية ضمن حقل أكبر بكثير من الحقل الذي تعطيه المرايا البيضاوية الكلاسيكية . واليوم تستعمل أدوات مزوّدة بشفرة شميدت في كل المراصد الفلكية .

ومن بين الأدوات المشتقّة من المنظار الفلكي تجب الإشارة إلى مقياس البعد أو التلمتر (مقياس المسافة) الأحادي المحلّة والمتميز بصفات من الحساسية والدقة تبرز في ظروف الاستعمال الاكثر صعوبة كما هو الحال فوق السفن الحربية . ويجب أيضاً أن نذكر منظار الاعماق أو البيريسكوب الذي يمكن الغواصات من البقاء على اتصال بصري بالسطح عندما تكون على عمق أقصاه عشرة أمتار .

وفي مجال الطوبوغرافيا تتيح الأدوات العصرية التي تعيّر تلقائياً ، كسب وقت ثمين وذلك حين تقوم بصورة أوتوماتيكية بالموضعة ، أو تعيين الموقع ، دون خسارة في الدقة . وبفضل التقدّم في البناء الميكانيكي ، وبصورة خاصة استعمال المسافات البؤرية القصيرة جداً ، والشبحيات ذات القطر الأكبر ، مما يسمح بتعيين الأماكن بدقة بصرية أكبر ، أصبحت الأدوات العصرية أقل وزناً وأقل ازعاجاً من أدوات القرن الماضي ، وهذه الصفة مهمة بالنسبة إلى الأجهزة المخصصة لتنقل كثيراً عبر مسافات طويلة .

وفي مجال الميكروسكوب أتاحت التحسينات التقنية المتوفرة ، في حساب الشبحيات وفي تحقيق كل القسم الابصاري ، التوصل الى أقصى الامكانيات أي إلى الحد الذي يفرضه طول موجة الاشعاعات البصرية . وهذا السقف أمكن تجاوزه بواسطة الميكروسكوب الالكتروني ، ولكن هذه الآلة تستعمل ظاهرات لا تدخل في مجال البصريات (أنظر بهذا الموضوع دراسة ب . مرزين وج . لوميزك في الفصل التاسع) . وعلى كل حال حقق الميكروسكوب الابصاري تقدماً غير منكور . واذا لم يكن بالامكان تجاوز الحد المطابق لطول الموجة فقد أمكن توسيع شروط استخدام هذه الآلة .

والتجديد الأكثر أهمية في هذا الطريق هو الرصد عن طريق « فرق المرحلة » بفضل النرلندي ف . زرنيك Zernike الذي أدخله إلى الميكروسكوب (1933 - 1938) .

في أنبوب الميكروسكوب وتحت الشبحية مباشرة توضع شفرة تسمى شفرة المرحلة وعلى هذه الشفرة يتم ترسيب طبقة رقيقة ، بواسطة الاسقاط الجزيئي في الفراغ ، ومن شأن هذه الطبقة ان تؤخر بمقدار نصف طول الموجة ، قسماً من الموجة يساعد في تشكل الصورة في الآلة . وان

نظرنا إلى تركيب ذي شفافية متساوية ولكن فاقد الانسجام بشكل محسوس بصرياً (مثل مركب يحتوي على جراثيم حية وغير ملونة) ، في الوقت الذي لا يُرى فيه شيء بحال عدم وجود شفرة المرحلة ، بالعكس فإن كل عدم تناسق يصبح مرئياً عندما تبدأ هذه الشفرة بالعمل . وهكذا يمكن تفحص مركبات تتضمن جراثيم حية دونما حاجة إلى استخدام تقنية التلوين الكهربائي الضروري لجعل هذه الجراثيم مرئية في الرصد العادي .

وهناك شكل جديد في مجال الميكروسكوب ويسمى الميكروسكوب التداخلي ويعود الفضل فيه إلى فريدريك Frederichs ، مرتون Merton وديزون Dyson ، الخ .

وبواسطة الرصد الميكروسكوبي يمكن تفحص التشويهات الداخلة بواسطة المركب المدروس داخل موجات مقياس التداخل ، وهي تشويهات تكشف عنها تشويهات أهداب التداخل المحدثة داخل هذه الآلة . ويمكن استخراج مؤشرات مفيدة منها حول تغير مؤشر الانكسار داخل مختلف أقسام المركب ويمكن ان نستنتج أيضاً سماكة الخلايا .

وبذات الوقت تم درس ميكروسكوبات بدلاً من ان تستعمل شبحيات ذات عدسات ، هي مزودة بمرايا مقعّرة تعيد بالتالي وبشكل مصغر بنية التلسكوب من نمط كاسغرين Cassegrain . وقد تبين ان هذه الميكروسكوبات تفيد في دراسة التفاعلات التعدينية مما يتيح بصورة مباشرة رصد المواد اثناء ذوبانها . وهناك نماذج أخرى من الميكروسكوبات أتاحت رصد ما يحدث داخل آلة طاردة عن المركز اثناء عملها . انها هنا تطبيقات عملية لا يمكن بشأنها التطلع إلى استخدام أدوات غير الميكروسكوب الابصاري .

وبخلال القرن العشرين وفي مجال الرصد الطيفي تمت مشاهدة استبدال الرصد بالعين بواسطة التسجيل الطيفي الكامل (السبكتروغرافيا) ؛ خاصة وان الاشعاعات المفيدة في الدراسة تتجاوز في أكثر الأحيان المجال المرئي لتتناول ما تحت الأحمر وما فوق البفنسجي .

وعلى كل يجب التذكير بالتقدم الهائل المحدث بفضل بناء شبكة انحراف تضخيمية (Blasing) من شأنها التركيز لأكبر قسم من طاقة الموجة النازلة ضمن موجة واحدة محروفة ، مما يحسن إضاءة مراصد الأطياف ذات الشبك . وعلى أساس معطيات الابصار الطاقوي ازدادت هذه الامكانية الجديدة في شبكات الانحراف ازدياداً ضخمٌ متوجها . الواقع ان العديد من الأدوات ، وخاصة في علم الفلك والتي كانت تستعمل في السابق الموشورات بسبب الاضاءة الضعيفة جداً في الشبكات تستعمل اليوم شبكات التضخيم ، مما يعطيها أفضلية من جهة التشتيت والقدرة الحلية .

ان هذا العرض السريع للمساهمات العديدة المحدثة في مجال علم البصريات منذ بداية القرن العشرين تكشف عن تقدم مشهود . وفي الاطار النظري ، أعاد التنظيم العميق تحديد الحدود والامكانات بشكل أكثر عقلانية . وبذات الوقت حدث تقدم مهم في مجال معرفة شغل العين البشرية وكذلك في قطاعات متنوعة في مجال التقنية وصنع الآلات .

الفصل السادس

التحليل الطيفي

« المطيافية »

لعبت العلاقات بين الاشعاع والمادة بخلال الربع الأول من القرن العشرين دوراً تاريخياً رئيسياً في تطور الفيزياء الحديثة ، اذ بصددها اتسع وتثبت مفهوم القوانين الكانتية ، التي تصوّرها بلانك Plank في السنة الأخيرة من القرن التاسع عشر ، التي تحكم بنية البلورات ، والجزيئات والذرات وحتى نواها بالذات والتي تعطي اجمالاً مفتاح دوام العالم الذي يحيط بنا .

مجال الاشعاعات الكهرمغناطيسية ودراسته ـ من المعلوم (راجع المجلد 3) أنّه في القرن التاسع عشر مدّت المطيافية ـ إلى أبعد من طرفي الطيف المرئي ـ التجربة الأساسية التي قام بها نيوتن Newton ، الدالة على تفكّك الضوء الابيض إلى اشعاعات وحيدة اللون . وقد جمع مكسويل Maxwell كل هذه الاشعاعات في النظرية الكهرمغناطيسية الضوئية ، والتي قدم لها هـ . هرتز H. Hertz برهان التجربة : ان كل شعاع قد تميز بتواتر ν في الحقل الكهربائي لموجة كهرمغناطيسية تجويفية أو بطول هذه الموجة $\lambda = c/\nu$ في الفراغ ، حيث تنتشر كلّ الاشعاعات بسرعة تعادل (c) . ورغم هذه الوحدة المبدئية ، فان نواقص التقنية تترك ثغرات بين الموجات الهرتزية وتحت الاحمر ، ولا تتيح دراسة فوق البنفسجي الا فوق الحد ($\lambda = 0{,}2\mu$) . وكان الشك سائداً حول ما اذا كانت الاشعة السينية (X) ، المكتشفة من قبل رونتجن Röntgenسنة 1895 ذات طبيعة كهرمغناطيسية .

وأتاح التقدّم التقني المستمر ، المرتبط بتحسين بلورات الإبصار ، وصنع البلورات التركيبية ، واستكمال شبكات الانكسار والتشتت ، وتطوير الصناعات الفراغية ، والفوتوغرافية والالكترونية ، توسيع نطاق الاشعاعات المستكشف اليوم بدون انقطاع ابتداء من التواتر العدم حتى حدود ($10^{17}s^{-1}$) . في سنة 1910 ؛ استطاع روبنس (Rubens) ووود (Wood) عزل شعاع يبلغ طول موجته ($314\ \mu$) ميكرون في شعاع تحت الاحمر . وبيّن نيكولس Nichols وتير Tear سنة 1922 ان الموجات في هذه المنطقة الطيفية بواسطة الاجهزة الابصارية أو الراديو كهربائية يمكن اكتشافها بواسطة نفس جهاز القياس (الذي حول الطاقة المشعة إلى حرارة) . وفي الطرف الآخر من الطيف استطاع شومان (Schumann)(1901) تصوير الاشعاعات فوق البنفسجية المنبثقة عن شرارات طولها ($0{,}12\mu$) ميكرون بواسطة مطياف ذي مبصر من الفلورين ؛ وتابع ليمان (Lyman) سنة 1906 الاستكشاف إلى حدود

(0.05μ) ميكرون بواسطة شبكات ، عن طريق الانعكاس وفي الفراغ . وتوصل ميليكان (Millikan) سنة 1920 ، بعد تحسين نفس الطرق إلى حد (0.01μ) ميكرون (= 100A أي 100 أنغشتروم) .

ان مكانة الاشعة السينية X ، بين الاشعاعات الكهرمغناطيسية ، قد تقررت بعد أن قام م . فون لو (M. Von Laue) وفردريك (Freidrich) وكنيبنج (Knipping)(1912) بالحصول على تفتّها بفضل ذرات بلورة ، وخاصة عندما قيس طول الموجة بواسطة الشبكات من قبل كومبتون Compton ودوان (Doan)(1925) . انها (أي الاشعة السينية) تغطي مجالاً يتراوح بين ما يقارب (0,1A) (مئة وحدة X) حتى حدود (300 A) حيث يمكن اكتشافها وتتبعها توفقاً لاساليب ميليكان (هولوك ,1926 Holweck) .

وطيف الاشعة السينية (X) قد امتد نحو الاطوال القصيرة للموجة بفضل طيف الاشعة غامًا (γ) الصادرة مواد مشعة . وقد تم قياس أطول موجة من عيار (0.016 A) ، بواسطة الشبكات .

وقد زاد التقدم اللاحق في دقة قياسات تواتر وزخم الاشعاعات ، كما حسّن دقة انفصالها ، ورفع من سهولة انتاجها واكتشافها ، من أجل دراسة خصائص المادة تجاهها .

وتشمل اجهزة الدراسة ، عموماً ، مصدر الاشعاع ، وفاصلاً للاشعاعات ، ولاقطاً .

في مجال الموجات الهرتزية ، يصدر المصدر ، اغلب الاحيان ، اشعاعاً وحيد اللون . وقد وصفت التقدمات الحاصلة في انتاج التواترات المتزايدة في مكان آخر (راجع دراسة ب . مارزين وج . لوميزك ، الفصل التاسع) . واستخدم الكشاف انابيب الكترونية للكشف على الموجات السنتمترية وما تحت . ويُضخّم التيار المكتشف .

ودراسة تحت الاحمر الذي يمتد على ثمانية ثمانيات تتطلب مساهمة عدة تقنيات . وتستعمل فقط تقريباً مصادر اشعاع حراري . ويتم فصل الاشعاعات بواسطة موشورات من بلورات اصطناعية متنوعة ، بين 1 و 50 ميكرون (μ) ، أو بواسطة شبكات ذات « مسقط » مدروس (راجع الفصل السابق) في كل الطيف . وقد يكون اللاقط ، من 2 ميكرون (μ) ، مكوناً من لُدَيْنة فوتوغرافية معالجة خصيصاً أو ، أقل من 3 ميكرون ، من اجسام تتناقص مقاومتها الكهربائية تحت تأثير الاشعاع ؛ ويعم استعمال اللاقطات التي تحول أولاً إلى حرارة الطاقة المشعة ثم تمتصها : بولومتر (bolomètre) لانغلي Langly [أي ميزان قياس الحرارة والطاقة المشعة] وراديومتر كروكس ونيكولس (Crookes et Nichols) [جهاز لقياس الدفق الطاقوي الذي تحمله الموجات . .] ، ثم البطاريات الحرارية الكهربائية ، واللاقط الهوائي الذي صنعه غولي Golay .

وتقترب الطرق الطيفية المستعملة في الطيف المرئي اليوم من الطرق المستخدمة في فوق البنفسجي ، على أثر التخلي عن العين كلاقط ، واستبدالها اما باللدينة الفوتوغرافية واما باللاقطات الكهرضوئية (خلايا تصويرية باثة ، أو مكثرات الصور ، وبطاريات محولة [تحـ ـل اشعاع الكهرمغناطيسي إلى تيار كهربائي]) . والمصادر هي الاشعاعات الحرارية ، والتفريغات الكهربائية في الغازات ، وشرارة القوس الكهربائي بين الجوامد ، واللمعان . ويتنافس في مجال الأجهزة

التشتيتية ، استعمال الشبكات ذات الاسقاط الخاص مع استعمال الموشورات . ان المطاييف التداخلية التضافرية (راجع المجلد الثالث) ، وخاصة مقياس التداخل المنسوب إلى فابري Fabry وبيروه Pérot ، والمحسّن بوضع طبقات ثنائية الكهرباء (راجع بهذا الشأن الفصل السابق) تتيح فصل الاشعاعات القوية التجاور . وتعلق آمال كبيرة على تطبيق تحويل فوريه Fourier لتحليل النتائج المحصول عليها بفضل مقياس التداخل الذي وضعه ميكلسون (Michelson) (المجلد الثالث).

ان القياس الطيفي لأشعة X ولأشعة γ (غامّا) هو من انجازات القرن العشرين . وتم انتاج أشعة X في أنابيب كوليدج (Coolidge) ، نتيجة تصادم الالكترونيات ، المبثوثة في الفراغ بواسطة خيط محمّى فوق مضاد كاتودي معدني محمول إلى زخم ايجابي عالٍ . ويتضمن الاشعاع طيفاً مستمراً وخطوطاً أكثر زخماً ، تتميز تبعاً لطبيعة الكاتود المضاد . ويتم فصل الاشعاعات بواسطة المطاييف ذات بلورات التباعدات الشبكية المعروفة ، باستعمال نِسَب براغ (Bragg) (انظر الفصل 2 من القسم الثالث) . واللاقط هو اللدينة الفوتوغرافية أو غرفة التأيين [تأيين الذرات أو الجزيئات المجرّدة إلى ايونات ، والايون هي ذرة أو مجموعة فقدت الكترونات] (انظر دراسة ج . تيلاك ، الفصل العاشر من هذا القسم) .

الفوتون (Photon) ـ لقد أدّت دراسة العلاقات العامة جداً ، بين المادة والضوء ، والتي تظهر في الاشعاع الحراري الصادر عن الجسم الاسود (راجع دراسة ل . دي بروغلي ، الفصل الأول من هذا القسم) ، ببلانك (Plank)(1900) إلى فكرة تقول بأن الطاقة المشعة تصدر بشكل كميات صغيرة ، انما نهائية أو ما سمي « كانتا quanta » E تناسب المعادلة (1) $E = h\nu$ وتدل ν على تواتر الاشعاع و h على ثابتة بلانك التي تساوي : ($6,52.10^{-34}$ J.s) .

ووضّح انشتين هذه الفكرة فكمّم ، من جهة التموجات أو الذبذبات الذرية في نظريته حول الحرارة الذاتية في الجوامد (1907) ، من جهة أخرى الطاقة المشعة في نظريته حول الأثر الكهرضوئي (1905) . ان كميات (ضمائم) الطاقة المشعة ، المسماة عموماً « الفوتون » تتوافق مع المعادلة رقم (1) . وبذات الوقت ، اشار إنشتين إلى صعوبة التوفيق بين مفهوم الفوتون ومفهوم التوزيع المستمر للطاقة على جبهة الموجة ، التي تنتج عن النظرية الكهرمغناطيسية .

وبدا انتاج الأشعة السينية (اشعة اكس X) من وجهة النظر الكانتية ، كمعاكس للمفعول الكهرضوئي . ان التواتر القصووي لأشعّة (X) المبثوثة يحقّق العلاقة أو المعادلة (1) ، حيث أنّ الطاقة القصووية E للالكترونات ، يتمّ تحديدها بفرق الجهد بين الكاتود (القطب السالب) والمضاد للكاتود (دوان Duane وهونت Hunt 1915) . وهناك ظاهرة أخرى ، هي أثر كومبتون (1922) ، سوف تبين أنّ الفوتون يمتلك إضافة إلى الطاقة ، كمية من الحركة تساوي $p = h\nu/c$ (ترمز c إلى سرعة الضوء) وان أثر الاشعاع X على الالكترون يمكن أن يعالج كما تعالج الصدمة بين جسيمين . وعلى كلٍ ان المعادلة $p = E/c$ بين الطاقة وكمية الحركة هي نتيجة النظرية الكهرمغناطيسية : وقد برهنت هذه المعادلة في السنوات الأولى من القرن العشرين بتجارب اجريت حول ضغط الاشعاع (ليبيدف Lebedev ، نيكولس Nichols) .

ومن أجل المزيد من معرفتنا بالمظهر المزدوج ، الجسيمي والذبذبي للضوء ، كان لا بد من انتظار ازدواجية مماثلة ، تم اكتشافها بالنسبة إلى المادة .

بدايات المطيافية الذرية ـ في السنوات الأولى من القرن استمر الاكتشاف الدؤوب لاطياف البث الذرية ، وفقاً للاسلوب الذي اتبعه بونسن Bunsen وكيرشهوف Kirchhoff سنة 1859 . وبالارتكاز على مظهر الخطوط الطيفية وعلى تغيرات عددها وزخمها بتغير شروط البث ، تم السعي من أجل تصنيف هذه الخطوط وفقاً لسلاسل ، مع تصوير تواتراتها بواسطة معادلات تجريبية من نمط المعادلة التي اقترحها بالمر Balmer سنة 1885 من أجل تصنيف الخطوط الهيدروجينية المرئية : $(2)\lambda=Am^2/(m^2-4)$ وفي هذه المعادلة تكون A الثابتة وm عدداً صحيحاً أعلى من 2 . وقدم خيط أول موصل بفضل مبدأ الاندماج الذي وضعه ريتز Ritz سنة 1908 وفيه يلحظ ان خطوط كل السلاسل الهيدروجينية ذات اطوال موجة معينة ترمز إليها المعادلة التالية $(3)1/\lambda=R(1/n^2-1/m^2)$ ، وفيها تمثل R الثابتة الكونية الشاملة ثابتة ريدبرغ Rydberg ، وn ترمز إلى عدد صحيح يميز سلسلة ما ، وm عدد صحيح أعلى من n يميز كل خط في السلسلة . وعندما يكون n=2 نعثر على المعادلة (2) . وعند التكمم ، وبشكل تأكّد بفضل التجربة ، افترض ريتز أنّ تواتر كل خط طيفي منبثق عن كلّ نوع من أنواع الذرات يمثل الفرق بين حدين طيفيين يميزان هذه الذرة . وعدد الحدود يقل كثيراً عن عدد الخطوط التي يمكن تصنيفها . ولم يكتمل بعد هذا العمل التصنيفي في الوقت الحاضر ؛ ذلك ان طيف الحديد مثلاً يحتوي على عدة آلاف من الخطوط في قسمه المرئي .

وأسندت نظرية لورنتز Lorentz (المجلد الثالث) البث والامتصاص الضوئي إلى الحركة المسرّعة في الالكترونات التي اعترف لها بأنها مكونات لكل مادة . وفي الغازات والأبخرة الثنائية الكهرباء لا تكون هذه الالكترونات حرّة ؛ ولكن استقطاب هذه الامكنة بالحقول الكهربائية يدل على ان الالكترونات تستطيع ان تنتقل داخل الذرات والجزيئات . وهكذا تم التوصل إلى تشبيه الذرّة المشعة بالهواء الرفيع الدقيق ، في حين تقوم الالكترونات بالضرورة ، بحركات دورية ، لأن الذرة مستقرة ، والاشعاعات المنبثة لها تواترات الحركات المنسجمة (الهرمونيكية) التي يشكل تراكمها الحركة الدورية . في سنة 1902 ، اقترح ج . ج . تومسون Thomson نموذج ذرة ترضي قوانين الميكانيك والكهرديناميك الكلاسيكيين .

وحفزت نظرية الالكترونات على البحث عن مفعول الحقول الكهربائية والمغناطيسية على بث الاشعاعات . وبدت تغيرات تواتر الخطوط الطيفية تحت تأثير حقل مغناطيسي ، والمكتشفة من قبل زيمان Zeeman سنة 1896 (المجلد الثالث) والمفسرة من قبل لورنتز ، بدت في أغلب الاحيان معقدة جداً (مفعول زيمان غير العادي ومفعول باشن ـ باك Paschen-Back ، 1912) بحيث تستعصي على الشرح بواسطة النظرية ، وكذلك الحال في التغيرات المحدثة بفعل حقل كهربائي (مفعول ستارك ـ لوسوردو Stark-Lo Surdo ، 1913) .

وفي سنة 1911 قادت تجارب تشتت الجزيئات في المادة (راجع ، الفصل 10 من هذا القسم) روذرفورد Rotherford إلى التخلي عن النموذج الذري الجامد الذي وضعه تومسون وإلى استبداله بنموذج ديناميك تدور فيه الإلكترونات حول النواة الإيجابية كما تدور الكواكب حول

الشمس . ولكن هذا النموذج اصطدم بمصاعب خطرة في النظرية الكلاسيكية للاشعاع : باعتبار ان الطاقة المشعة تستمد من الطاقة الميكانيكية الموجودة في الالكترون ، مما يوجب على هذا الأخير ان يرفع بصورة تدريجية تواترة الدوراني فيبثّ اشعاعات يزداد تواترها أيضاً بشكل مستمر - في حين تكون الخطوط الطيفية المنبثقة عن الغازات محددة للغاية - وأخيراً تسقط فوق النواة : وعندها تصبح الذرة غير مستقرة .

تطور نظرية الكاتنات القديمة - في سنة 1913 لاحظ بوهر Bohr ان المعادلة (3) يمكن ان تكتب بالشكل التالي : $h\nu = hc/\lambda = (hcR/n^2) - (hcR/m^2) = E_n - E_m$ (4) ، فافترض ان E_m و E_n تمثلان على التوالي طاقتي حالتين توقّفيتين في ذرة روذرفورد ، وهي حالات ديناميكية تكون فيها الذرة غير مشعة ، خلافاً لقوانين الكهرديناميك الكلاسيكي . ويتم بث أو امتصاص فوتون الطاقة $E = h\nu$ المنبثق عن المعادلة (4) فقط عندما يمرّ الالكترون من مسار جامد إلى مسار آخر . ان طاقة الالكترونات في الذرات تصبح مكمّمة عندئذ .

وقد شهد العقد التالي اثبات وتوضيح هذه الافكار الاساسية . قام ج . فرنك Franck وهـ . هرتز Hertz سنة 1913 بقذف ذرات البخار بالكترونات منتظمة الطاقة ، فاثبتا بالبرهان المباشر ان هذه الطاقة لا يمكن ان تمتصها ذرة ما الا بكميات ضئيلة جداً ، وعند خسارة احدى هذه الكميات التي يرمز إليها بـ ΔE، تقذف الذرّة اشعاعاً يبلغ تواتره $\nu = \Delta E/h$. ان ظاهرات التذبذب البصري (وود 1904) التي تقوم على الامتصاص الانتقائي ، من قبل ذرات البخار ، لاشعاعات ذات تواتر محدد بدقة ، ضمن ضمة ضوئية ثم اعادة بث هذه الاشعاعات ، في كل الفضاء ، يمكن تفسيرها بسهولة بفضل نظرية بوهر . وفي سنة 1913 انشأ موزلي المطياف لاشعة X وبين أنّ التواتر الاعلى في طيف X المبثوث من قبل كل عنصر ، يخضع لمعادلة تشبه معادلة بالمر .وفي سنة 1916 فسر كوسل Kossel معادلة موزلي Moseley كما فسر بوهر معادلة بالمر .

ووسع سومرفيلد Sommerfeld (1916) التكميم حتّى أشمله الحركات الذرية المتمتعة بعدة درجات من الحرية .

وتتألف ثوابت هذه الحركات التي يحدددها الميكانيك الكلاسيكي (طاقة ، عزم حركي ، واذا وجد محور ثابت في الفضاء ، اسقاط هذا العزم الحركي على هذا المحور) من مقادير مكممة ، هي مضاعفات صحيحة لثابتة بلانك . ان المسارات الممكنة للالكترونات تصبح أكثر تنوعاً ويتوجب ان يطبق عليها الميكانيك النسبوي .

وبالامكان بعد ذلك تأويل السمات الرئيسية للاطياف البصرية في الذرات القلوية ، التي يلعب دوراً في انتاجها الكترون واحد . ان البنية الدقيقة لهذه الاطياف وجدت تفسيراً لها عندما زوّد الالكترون بدرجة من الحرية اضافية ، مثلت في بادىء الامر كتمحور أو سبين (هبوط لوليي)(أوهلنبك Uhlenbeck وغودسميت Goudsmit ، 1925) . وفسر مفعول زيمان بسهولة في النظرية الجديدة . في سنة 1916 ، فسر ابستين Epstein مفعول ستارك Stark . وفي سنة 1921 وضع لاندي Landé معادلة تجريبية توضح مفاعيل زيمان غير العادية .

وقدمت ظاهرات غريبة عن المطيافية مساندتها للاكتشافات السابقة أو استفادت منها . وأظهرت قياسات الحرارات الذاتية (النوعية) عند درجات الحرارة المنخفضة تكميم الحركات الذرية والجزيئية . ووجد التكميم فوق محور في الفضاء برهاناً مباشراً في التجارب المغناطيسية التي قام بها سترن Stern وجرلاش Gerlach (1922) . وادت مقارنة اطياف العناصر إلى تحديد بنيتها الالكترونية .

إن مجمل هذه النتائج وتأويلها ، الذي يشكل ما يُسمّى بالنظرية الكمية القديمة ، وجد التعبير الرئيسي عنه في كتاب سومرفيلد « الذرة والاطياف » (Atombau und Specktrallinien :1919) . وعلى كلٍ اصطدمت النظرية بمصاعب : فهي قد عجزت مثلاً أمام تفسير مفاعيل الذارت ذات الالكترونين الابصاريين ، وحتى ابسطها ، وهو اتوم الهليوم ، وأمام تفسير مفاعيل زيمان غير العادية . وقد احتفظت في أساسها وبآنٍ واحد بمسلمات التكميم وبقوانين الميكانيك والكهرمغناطيسية الكلاسيكية ، في مزيج غير عقلاني ، رغم اعلان بوهر عن « مبدأ التوافق » الدال على ان القوانين الكمية تنزع نحو القوانين الكلاسيكية عندما يصبح عدد الكانتا العاملة كبيراً جداً .

الميكانيك الكانتي (نسبة إلى الكانتا : ضمائم الاشعة) ـ هناك نظرية مرضية استطاعت أن تستخرج القوانين الكانتية من المبادىء الاساسية الكبرى . إن تأسيس ميكانيك جديد ، صالح بالنسبة إلى الذرات وإلى الجزيئات قد وضع عن طريقين مختلفين . في الطريق التي فتحها هيسنبرغ Heisenberg سنة 1925 ، مستلهماً الاهتمام بالنظرية الوضعية ، حرص الواضعون على استبعاد عدد من المفاهيم من وصف الظاهرات ، والتي بات معناها مشكوكاً به ، كما حرصوا على وضع نسب بين كميات قابلة قدر المستطاع للرصد والمراقبة مثل : مستويات الطاقة ومثل التواترات والزخوم في الخطوط الطيفية . وادى هذا إلى تصوير هذه المقادير بواسطة مصفوفات أو عوامل ، كان قد وضع قواعد حسابها كايلي Cayley في منتصف القرن التاسع عشر (المجلد الثالث) ثمّ تأسيس ميكانيك للمصفوفات صوّره بورن Born وجوردان Jordan ، ثم بصورة مستقلة ديراك Dirac .

وكان ثاني وصول إلى الميكانيك الذري قد نشأ في فكرة ل . دي بروغلي Louis de Brouglie سنة 1924 حين فكر بضم كل جزئية متحركة إلى موجة يضاف طولها $\lambda = h/p$ متبعاً بالاجمال مساراً معاكساً للمسار المؤدي إلى نسب كمية من الحركة إلى الفوتون . ويعود الفضل في تطوير هذا الميكانيك التموجي إلى شرودنجر Schrödinger الذي وضع سنة 1926 المعادلة العامة التي تتوافق معها موجة بروغلي . وتعتبر معادلة شرودنجر معادلة تحليلية كلاسيكية . فاذا طبقت على مسائل بسيطة يمكن ردّها إلى دراسة جزئية واحدة (الهزاز التوافقي ، دوار الكتلتين ، ذرة الهيدروجين) ، فانها أي معادلة شرودنجر تعطي حلولاً دقيقة تستدعي إدخال دالات درسها رياضيون من القرن 19 ، وتؤدي عن طريق الاستنتاج إلى كل شروط التكميم التي كانت تبدو في الماضي عشوائية .

وهكذا يمتلك الكترون ذرة الهيدروجين أو الهيدروجين المولّد ثلاثة اعداد كانتية صحيحة هي : n (أو العدد الكانتي الرئيسي) ، و l (أو العدد الكانتي السمتي أي الاقصى) ، و m (أو العدد الكانتي المغناطيسي) وكلها تعود بالتالي إلى الثوابت الثلاث للحركة . وهناك عدد كانتي رابع هو s يعود إلى العزم الحركي الذي يقوم به السبين (الدوامة) الذي هو ـ كما بيّن ذلك ديراك سنة

1930 ـ خاصة ناتجة عن طبيق معادلة تشبه معادلة شرودنجر على الالكترون ، الا انها ترضي الثبوتية النسبوية .

وبين شرودنجر سنة 1926 ان ميكانيك المصفوفات والميكانيك التموّجي متساويان . وهما بعد ذلك يجتمعان في ميكانيك كانتي يفسّر بشكل مرضٍ ، من حيث المبدأ ، ليس فقط وقائع المطيافية ، بل أيضاً عدداً كبيراً من الخصائص الأخرى الذرّية أو الجزيئية . ويعطي اليوم ، وفي أغلب الاحيان ، الميكانيك الكانتي شكلاً بداهياً (ديراك ، فون نيومان Von Neumann) ، سهل التعلّم ، انما يجب أن ننسى نشأته التجريبية .

الميكانيك الكانتي والسببية ـ من بين المسلمات الأساسية التي يمكن الانطلاق منها لعرض الميكانيك الكانتي ، ترتسم « نسب الاستبدال » التي وضعها هيسنبرغ ، وهذه النسب بالذات هي ذات علاقة وثيقة « بمبدأ الشك » لذات المؤلف ، مما ينتج عنه عدم امكانية نسب موقع واحد وحالة حركية محددين تماماً ، إلى نفس الجسيم بذات اللحظة . هذا القصر الاساسي لمعارفنا مرتبط بالقيمة النهائية لثابتة بلانك . في لغة الميكانيك التموجي يرتدي مبدأ الشك شكل فكرة الاستكمال (1927, Bohr) : ان التجربة التي تثبت الصفة الجسيمية لجسم ما تترك بالضرورة في الظل صفته التموجية . وأخيراً يكون تفسير دالّة الموجة التي تتدخل في معادلة شرودنجر كما يلي : ان مربع مقياس هذه الدالة يعادل في كل نقطة وفي كل لحظة احتمالية إمكان الرقابة بتحديد موضع الجسيم في هذه النقطة وفي هذه اللحظة (بورن ، 1926) . هذه الثنائية الموجة ـ الجسيم ، والشك والاحتمال المقرونان بها لم تمنع الميكانيك الكانتي من تشكيل نظرية متماسكة لم ترضِ على كل حال بعض الفيزيائيين (راجع بهذا الشأن دراسة ل . دي بروغلي ، الفصل 1 من هذا القسم) .

اطياف الذرات ذات الالكترونيات المتعددة ـ منذ أن نواجه عدة جزيئات ، نعرف في أغلب الاحيان كيف نضع معادلة شرودنجر ، ولكن لا نعرف حلّها بدقة ؛ فنضطر إلى اللجوء إلى طرق التقريب . وعندما يتعلق الأمر بالكترونات في ذرة فإن التقريب المرضي يقوم على اعتبار كل الكترون وكأنه خاضع لحقل مركزي تخلقه النواة والتوزيع الوسطي للالكترونات الاخرى (حقل الاكتفاء الذاتي عند هارتري Hartree ، 1928) .

عند هذه الدرجة من التقريب يمكن استعمال الارقام الكانتية n, l, m, s, المحددة سابقاً من أجل تحديد الحالات الذرية ، وطاقة هذه الحالات لا تتعلق على كل حال إلا بالعددين n ، l . ويبقى هناك فرق بين الحقل الحقيقي والحقل المركزي . ويؤخذ هذا الفرق بعين الاعتبار ، في تقريب ثان ، عندما ننظر إلى العزم الحركي المداري وإلى العزم الحركي في سبين كل الكترون ، باعتبارهما كأسهم عادية (وهذا أمر لا يجيزه الميكانيك الكانتي بكل دقة) . وهكذا نحصل على نموذج سهمي للذرة ، نستطيع أن نحدد عزمه الحركي الشامل بواسطة قواعد جمع الأسهم . ولهذا يمكن أن ننطلق من وجهين ، الوجه الأول ويقوم على تركيب العزوم الحركية المدارية الفردية من أجل الحصول على العزم الحركي المداري الشامل ، هذا من جهة ومن جهة أخرى نقوم بتركيب العزوم الحركية للسبين مما يعطي العزم الحركي الشامل للسبين ، وبعدها نأخذ حصيلة هذين السهمين : انه مزدوج رسل

Russel وسوندرس Saunders الذي يطبق على الذرات الخفيفة ، وفي الطريقة الثانية نجمع العزمين الحركيين المتعلّقين بكل الكترون ثم مجموع كل الاسهم الحاصلة على هذا الشكل ؛ إنّه المزدوج j ، j الصالح بالنسبة إلى الذرات الثقيلة . وأخيراً هناك تقريب أخير يهتم بالتأثيرات المتبادلة بين العزم الحركي المداري والعزم الحركي التدويمي : انه الازدواج « الدوامة ـ المدار » الذي يفصل ويعدد مستويات الطاقة المتميزة سابقاً بالعددين (n) و (l) والتي تتعلّق بعدها بالعدد s .

إن طيف ذرة الهليوم يمكن أن يؤول عندئذ ، وهذا يساعد على التعبير الصحيح عن تفاعلات الكترونات الذارت المتبادلة (هيسنبرغ ، 1926) . وعندها تفسر مفاعيل زيمان غير العادية وكذلك الصيغة التي وضعها لاندي وذلك عندما نحسب حساباً لواقعة أن الطاقة بين العزم المغناطيسي والعزم الحركي ليس لها نفس القيمة بالنسبة إلى العزوم المدارية وعزوم التدويم . وحملت الدراسة الانتقادية الدقيقة لاطياف العناصر ، والتي بينت أن بعض التوزيعات الالكترونية لا تلتقي (بولي سنة 1925) على اعلان « مبدأ الاستبعاد » الذي حمل اسمه : إن الحالات الذرية التي يكون فيها لالكترونين نفس المجموع المؤلف من أربعة أعداد كمية n, l, m, s ليس لها وجود . إن جميع الانتقالات الناتجة عن المعادلة (3) ليست مقبولة بين مطلق مستويي طاقة ذرية . ويوجد « قواعد إنتقاء » متنوعة إذ تضيّق عدد تغيرات قيم الاعداد الكمية أثناء انتقال معين ، فتحدّ من عدد هذه التغيرات . ويتيح الميكانيك الكانتي أيضاً حساب احتمالات الانتقال بين مستويين يتدخلان في التعبير عن زخم الخطوط الطيفية المقابلة . وتؤثر الخصائص المختلفة في النوى الذرية (الكتلة ، العزوم الحركية والمغناطيسية في الدوامة) على الاطياف الابصارية في الذرّات وتولد « بنية متناهية الدقة » في العديد من الخطوط الطيفية ذات تواترات متقاربة جداً (تفكك عدة خطوط طيفية) .

المطيافية الجزيئية ـ في أواخر القرن التاسع عشر ، عُرِف ان أطياف بث وامتصاص بعض الإبخرة كانت تعزى إلى الجزيئات وليس إلى ذراتها التكوينية . وامتدت الاطياف الجزيئية من فوق البنفسجي إلى الشعاع الهرتزي . في المرئي وفي فوق البنفسجي ، تحتوي هذه الاطياف عدداً من الخطوط أكبر بكثير ، يوزع بشكل أكثر تعقيداً من الاطياف الذرية . ان أطياف الجزيئات المكونة من ذرتين هي الأبسط : وخطوطها تتجمع في أغلب الأحيان بشكل ضمم . ومنذ سنة 1885 صور ديلندر Deslandres توزيع الخطوط في الضمم بشكل معادلة تجريبية لعبت دوراً مهماً يعادل دور المعادلة رقم (3) في دراسة الاطياف الذرية .

وسوف يتيح التقدم في مجال المطيافية تحت الحمراء في مطلع هذا القرن ، العثور ، داخل تحت الاحمر القريب على أطياف ضمم أبسط مما هي في فوق البنفسجي (صورة رقم 5) ، ثم في الاحمر البعيد (زرني Czerny ، 1925) وفي فوق الهرتزي (منذ سنة 1940) على سلاسل من الخطوط متعادلة البعد تقريباً . ان التفسير الصحيح لهذه الاطياف قدمه الميكانيك الكانتي . وكممت مستويات الطاقة داخل الجزيء مثل مستويات الطاقة في الذرة ، إلا أنها كانت أكثر عدداً .

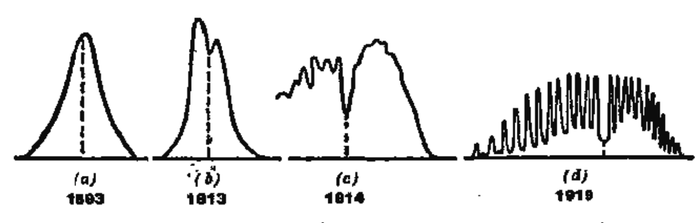
في التقريب الأولي الذي قدمه بورن وأوبنهمير Oppenheimer ، سنة 1927 ، أمكن اعتبار الطاقة E المتأتية من الحالات الجمودية وكأنها مجموع طاقة الكترونية E_e ، وطاقة ذبذبية E_v من

الذرات ، وطاقة دورانية E_r في الجزيء . والتبدلات في E_r غالباً ما تكون ضعيفة ، وهي تولد طيف الدوران الخالص ذي الخطوط ذات التواتر الادنى . ان تغيرات الطاقة E_v هي أكثر أهمّية ؛ إنّها تقترن بتغيّرات في E_r ، ومجمل الخطوط المطابقة لتغيّر معيّن ΔE_v يشكل ضمّة ذبذبة دورانية (صورة 5 d) . وأخيراً يقترن التغير الكمي ΔE_e في الطاقة الالكترونية بتغيرات في الطاقتين E_r و E_v . ويتوافق مع هذا التغير نظام ضمم الكترونية حيث تعزى كل ضمة إلى تغير محدد ΔE_v ، وينحل في خطوط يتطابق كلّ منها مع نقل في الدوران ΔE_r . وتوجد قواعد انتقائية .

إن أطياف الجزيئات المتعددة الذرات هي أكثر تعقيداً من الاطياف السابقة خاصة وان الجزيئات تحتوي على مزيدٍ من الذرات وهي أقل تناظراً . وتجمع الخطوط بشكل ضمم غالباً ما يختفي مما يجعل تحليل الاطياف صعباً . وهذا العمل لما ينتهي بعد ، حتى بالنسبة إلى الجزيئات ذات التوكيب البسيط وذات البنية التناظرية .

وهناك تتمة ثمينة لدراسة أطياف الامتصاص الجزيئي هي دراسة أطياف الانتشار الجزيئي . ان انتشار الضوء داخل الاماكن المتنافرة التكوين (مثل السوائل المذابة ومثل اللدائن) قد درس من قبل تندال Tyndall سنة 1868 . ولكن المعروف أنّ كل وسط مادي هو متنافر التركيب على الصعيد الجزيئي . في نظرية لورنتز يحرك الحقل الكهربائي لضمة ضوئية تجتاز مثل هذا المكان بشكل ذبذبات ، الكترونات الجزيئات . وهذه الجزيئات تبث النور في كل الاتجاهات . ويدل الحساب على ان الكسر من الضوء المرئي المبثوث من قبل الجزيئات يزداد ضخامة كلما كان طول الموجة أقصر .

واللون الأزرق السماوي يعود إلى انتشار ضوء الشمس بفضل غازات الفضاء (لوردرايلي سنة 1871) وفي سنة 1913 توصل كابان Cabannes في المختبر إلى دراسة الانتشار الجزيئي للضوء بواسطة الغازات . . وفي سنة 1928 حلّل رامان Raman الاشعاع المنتشر بفضل اجسام نقية مضاءة وحيدة اللون فبين ان هذا الاشعاع لا يحتوي فقط على الاشعاع المحفّز بل يحتوي أيضاً على جملة من الاشعاعات المميّزة لطيف ذبذبة ودوران الجزيئات كانت أقل تقدماً رغم انها استعملت كنموذج لبدايات الميكانيك التموجي .



صورة 5 ـ مثل على تقدّم المطيافية تحت الحمراء (ضمة من أسيد كلوريدريك بمعدّل μ 3,5) .

تكميم الإشعاع ـ حوالي سنة 1928 عرف أن الميكانيك الكانتي سوف يعطي حلاً صحيحاً لأغلب المشاكل المتعلّقة بالبنية الذرية ، ولكن نظرية الإشعاع كانت أقلّ تقدّماً رغم أنّها استعملت كنموذج لبدايات الميكانيك التموّجي .

ان تكميم حقل الاشعاع الكهرمغناطيسي يعود الفضل فيه بصورة أساسية إلى ديراك سنة 1930 ، الذي بين انه بالامكان وضع معادلات مكسويل بشكل يشبه الشكل الذي أعطاه هاميلتون لمعادلات الميكانيك الكلاسيكي (المجلد الثالث) . ان الحقل الكهرمغناطيسي الذي كان يعتبر وكأنه مكون من تراكم الموجات المسطحة ذات اللون الواحد ، أصبح عندئذ قابلاً للتكميم كما هو الحال بحركة الرقاص الهرمونيكي المنتظم . هذه النظرية الكانتية للحقول استطاعت أن تشمل حقولاً أخرى غير حقل الاشعاع (راجع دراسة ر . نتاف R. Nataf ، في الفصل العاشر من هذا الفصل) .

وعلى كل حال لم يستطع وجود ثنائية موجة ـ جزيء في ما خص الاشعاع والمادة ، ان ينسي الفروقات المهمة التي تفصل الفوتونات عن الجسيمات المادية . فالفوتونات تتوالد وتنعدم بشكل اعتيادي بعكس ما هو عليه حال الجسيمات . وكتلة الفوتونات هي بالفعل كتلة معدومة ، أما كتلة الجسيمات فذات حد محدود عندما تنزع طاقتها الحركية نحو الصفر ، وعندها تصبح الجسيمات خاضعة بسهولة للرصد والمراقبة الفردية ، ويكون المظهر التموجي للاشعاع هو الأكثر بروزاً .

الاحصاءات الكانتية ـ ان الفروقات بين الفوتونات وبعض الجسيمات مثل الالكترونات تظهر عندما يدرس سلوك مجموعات هذه الجزيئات . والتحليلات الاحصائية التي طبقها لوردرايلي ثم بلانك على شعاع الجسم الأسود (المجلد الثالث) اتخذت شكلاً جديداً في الميكانيك الكانتي .

والظهور المضخم القابل للاكتشاف لنظام ما ، يمكن أن يتحقق بفضل توزيع متعدد الاشكال مجهرياً ، ومتمايز ، للجزيئات التي تشكل النظام ، بين مختلف الحالات التي يمكن لكل جزيء أن يتخذها . واذا شبهنا الجزيئات بنقاط مادية ، فان كلّ حالة تتحدد بست متغيرات : ثلاث احداثيات ذات موقع g وثلاث احداثيات دفعية p ، في مجال ذي ستة أبعاد يسمّى « الامتداد المرحلي » . ان العلاقات الشكوكية تتيح تحديد قيمة مشتركة لعنصر الامتداد المرحلي المطابق لحالة ما ، وهي قيمة يتركها الاحصاء الكلاسيكي غير محددة . فضلاً عن ذلك تعتبر الاحصاءات الكمية للجسيمات ذات الطبيعة الواحدة والمكونة للنظام ، بأنها مستعصية على الرؤية مما يتيح تصحيح بعض المتناقضات في الاحصاء الكلاسيكي .

في حالة الالكترونات افترض فرمي Fermi سنة 1926 ، سنداً لتعميم لمبدأ بولي أن الحالة الواحدة لا يمكن أن تكون مشغولة بأكثر من فوتون واحد بآن واحد . هذا الاحصاء الذي وضعه فرمي وديراك ، يفسر بشكل خاص خصائص الالكترونات في المعادن .

وفي حالة الفوتونات بيّن بوز Bose منذ سنة 1924 ان كل حالة ممكنة يمكن أن تشغل بعدد ما من الفوتونات . وهكذا أتاح احصاء بوز وانشتين بشكل خاص العثور من جديد على قانون بلانك الاشعاعي .

تطبيقات المطيافية ـ ان الأطياف البصرية واطياف أشعة اكس هي التي كشفت عن وجود

مادتي الهافنيوم hafnium والرينيوم rhénium . وقدم الطيف البصري للدوتيريوم deutérium أول برهان على وجوده (أوري Urey ، 1933) . وأتاحت معادلة موزلـي منذ سنة 1913 تحديد العدد الذري للعناصر ، ثم تصحيح بعض التمخالفات الظاهرة في تصنيف مانديلف الدوري . وأتاح النموذج السهمي للذرة ، ومبدأ بولي ، فهم توزيع الالكترونات بين مستويات طاقة الذرات ، وهو توزيع وضعه بصورة تدريجية ، بين سنة 1915 و 1925 كل من كوسل وبوهر وستونر Stoner ومان ـ سميث Main-Smith ، منطلقين من معطيات تجريبية حول الخصائص الطيفية والمغناطيسية والكيميائية في العناصر .

وتميز أطياف الجزيئات تركيبها وبنيتها . وتستعمل المعطيات الطيفية من أجل تحديد التناظر الجزيئي ومن أجل حساب عزوم الجمود والمسافات والقوى الواقعة بين الذرات وطاقات الفصل ، وغيرها من المقادير الحرارية الديناميكية .

وتحتل المطيافية اليوم مكانة ضخمة في التحليل الكيميائي المتداول . وتستخدم أطياف البث والتوهج ، وخاصة أطياف الامتصاص منذ مجال أشعة اكس حتى فوق الهرتزي ، من أجل تحديد هوية الأنواع الكيميائية وأحياناً من أجل تعييرها وقياسها . وجعل تقدم التقنية هذه الطرق أكثر فأكثر سهولة ويسراً ، وحساسية ودقة (بالنسبة إلى التطبيقات المطيافية الهرتزية ، أنظر دراسة ب . مارزين وج . لوميزيك ، في الفصل 9 من هذا القسم . وبالنسبة إلى تطبيقات علم الفيزياء النجومي أنظر دراستي ش . فهرنباك وج . ف . دينيس في الفصل 4 من القسم الثالث) .

وتحسين مصادر الضوء مدين بالكثير للدراسات المطيافية . ان أنابيب التفريغ في بخار السوديوم أو الزئبق ، ومصابيح التوهج (الفلوريسان) أصبحت ذات استعمال شائع . وأيضاً وبعد الارتكاز على دراسة معمقة للتوازن بين الاشعاع والمادة والانتقالات الذرية ، أمكن التوصل إلى بناء اللايزر التي تشبه في مبدئها المازر وذلك من أجل الاشعاعات تحت الحمراء والمرئية .

والمازر هي مضخمات لاشعاع ذي ضجة قاعية ضعيفة جداً ولمصادر الضوء المتماسك الذي تتجاوز وحدة اللون فيه والقوى الآنية إلى حدٍ بعيد ، تلكما الموجودتين في المصادر العادية . واللايزر الياقوتي يعود الفضل فيه إلى ميمان Maiman ، سنة 1960 ، ولايزر الغازات (He + Ne) إلى جافان Javan (1960) .

وأصبح للمطيافية صلات أساسية مع المقياسية . ومنذ سنة 1864 شبه فيزو Fizeau « شعاع الضوء مع ما فيه من سلاسل تموجية » بـ« ميكرومتر طبيعي بالغ الكمال » ومنذ سنة 1960 أصبحت وحدة الطول تتحدد بطول موجة اشعاع صادر عن نظير مشع من الكريبتون . نذكر أيضاً ان هناك تطلعاً إلى اتخاذ ، كوحدة للمدة ، الفترة الزمنية لخط طيفي ذرّي أو جزيئي (أنظر الفصل التاسع من هذا القسم) .

الفصل السابع

الحرارة المتحركة أو
« الترموديناميك »

عندما بدأ القرن العشرين كان ما يسمى « بالترموديناميك الكلاسيكي » ، أي استكشاف مبدأ حفظ الحرارة ومبدأ كارنو ، وقد رأينا ازدهارهما في المجلد الثالث ، علماً شبه منتهٍ عملياً أي مكتملاً . ولكن الفيزيائيين اتبعوا في هذا الشأن مَثَلَ الرياضيين فعملوا على اعطاء هذه المبادىء الشكل الأعمّ ما أمكن ، وانتهوا في هذا المجال إلى نتائج مهمة .

I ـ حفظ الطاقة

الصيغة التي وضعها جان برين Jean Perrin ـ منذ سنة 1901 أطلق جان برين في كتابه المسمى « المبادىء » العبارة التالية :

عندما يكون بإمكان إحدى عمليتي تغيّر أن تكون الانعكاس الوحيد للعملية الأخرى ، فمن غير الممكن الحصول ، على حساب أيّ منهما ، أوّلاً على الأخرى ثمّ ، فضلاً عن ذلك ، على عمليّة تغيّر أخرى « مكتسبة » ما لم يكن هذا « الاكتساب » من تلك الاكتسابات التي تكون ارتداداً أو انعكاساً لتغيّر جول Joule .

ان تغيرات جول المشار إليها في هذه العبارة هي التمددات ذات الحرارة الواحدة في غاز مكتمل . والتغيرات الأخرى يمكن أن تكون أيضاً تغيرات الموقع وفي حالة الحركة ، وفي الحالة الفيزيائية كما تكون أيضاً تفاعلات كيميائية أو نووية ، الخ .

ولدينا إذاً هنا عبارة عامة جداً استطاع بول لانجفان ان يطبقها ، سنة 1920 ، في محاضراته في الكوليج دي فرانس على وضع أو استحداث القوانين العامة في الميكانيك .

الصيغة التي وضعها ماكس بورن Max Born ـ إن مفهوم كمية الحرارة بقي لمدة طويلة كما كان عليه في القرن الثامن عشر مستعيناً بصورة ضمنية إلى حدٍ ما بالفرضية حول ما يسمى بالوحدة الحرارية كالوري calorie . وفي سنة 1921 قدم ماكس بورن صيغة للمبدأ الأول تتضمن بذات الوقت تعريفاً دقيقاً لكمية الحرارة .

تم في باديء الأمر طرح وجود جوانب عازلة تماماً من الحرارة : لا يمكن التعامل مع نظام مغلق داخل نطاق كهذا الا بعد تغير شكل هذا الغشاء أو الحاجز أو بواسطة حقول خارجية معروفة تماماً مثل حقل كهربائي . وينتج عن هذا أنّه بالنسبة لكلّ تحول أو تغير في نظام مغلق داخل نطاق كهذا فإن العمل الجاري لا يتعلق الا بالحالة الأساسية وبالحالة النهائية ؛ ويسمّى هذا العمل تغييراً في الطاقة الداخلية في النظام والتحول يسمى عندئذ عزل الحرارة .

ثم طرح بعدها وجود تحول في العزل الحراري دائم من شأنه نقل نظام ما من حالة أساسية A إلى حالة نهائية B وتعرف كمية الحرارة المستعملة في أي تحول بأنها الفرق $\Delta u - \omega$ بين تغير الطاقة الداخلية Δu (المحددة بالعمل المستعمل في التحول العزلي ذي الطرفين ذاتهما) والعمل في التغير المبحوث به .

نذكر ان هذا التعريف يتبع من قرب التعريف الذي يمكن أن تقدمه النظرية الجزيئية : فهذه النظرية تستطيع فعلاً تحديد الطاقة الشاملة الداخلية في نظام من الجزيئات باعتبارها مجموع طاقات كل جزيء مكوِّن وتستطيع هذه النظرية أيضاً أن تعرِّف العمل ، ولكن كمية الحرارة لا يمكن أن تعرَّف الا باعتبارها الفرق بين هاتين الكميتين ، لأنها تنتج فقط عن تغيرٍ في توزيع الجزيئات بين مختلف الحالات الممكنة .

II - مبدأ كارنو Carnot

في كتابه « المبادىء » عرف جان برين ، بعد نقاش مع ب . لانجفان ان المبدأ الثاني هو حقاً مبدأ تطور ، وقد استطاع ان يصوغه بقوله انه إذا كان التغير قابلاً للتحقيق فطرياً فان التغير المعاكس لا يكون كذلك . مثلاً ان سقوط جسم ما على مهادٍ من الثلج يحدث تذوباً لكمية من الثلج . وبعدها من المستحيل إعادة رفع الجسم بمجرد تجميد كمية الماء أي باعمال مصدر حراري واحدٍ ، وهذا هو بالاجمال مبدأ كارنو . ولكن مثل الحركة البراونية (نسبة إلى براون) يدل ـ بالنسبة إلى جزئيات صغيرة جداً ـ ان الأمر ليس هكذا . وإذاً فمبدأ كارنو لا يصلح إلا لأجسام تكون أبعادها على مستوانا : وإذاً فهو ليس أكثر من مبدأ إحصائي .

وبعد الإشارة إلى ملاحظات كاراتيودوري Carathéodory التجريدية جداً (1909) حول مفهوم القصور الحراري فإننا نركز قليلاً على مفهوم « ايجاد القصور الحراري » .

بيّن كلوزيوس انه إذا جرى تحول في درجة حرارة T باستعمال كمية من الحرارة q واقترن هذا التحول بتغير في المخزون الحراري ΔS يتحصل لدينا : $T\Delta S \geqslant q$. وإذاً يمكن ان نطرح $T\Delta S = q + q'$ حيث تكون q' المسماة « الحرارة غير المعوضة » من قبل كلوزيوس ، دائماً إيجابية أو معدومة : تكون إيجابية عندما يكون التحول غير قابل للارتداد وتكون معدومة في حالة التغير القابل للارتداد وبكتابة هذه المعادلة $\Delta S = q/T = q'/T$ ثم بملاحظة ان q/T تمثل التغير في المخزون الحراري بالنسبة إلى الوسط الخارجي الذي يسرب الحرارة q ، يمكن اعتبار q'/T كمخزون حراري « مبتكر » اثناء التحول عندما يكون هذا التحوّل غير قابل للارتداد .

وتطوير هذه الفكرة هو الذي أدّى إلى دراسة « الحرارة المتحركة في العمليات التي لا ترتد » والتي اهتم بها العديد من العلماء ومن بينهم ت . دي دوندر de Donder وأونسانجير Onsanger .

النشـاط - منذ سنـة 1845 أدخل جيبس Gibbs فكـرة « الزخم الكيميـائي الكامن » ، المنبثق بالنسبة إلى عـدد من الجزيئـات الغرامية (المول) في مكـوِّن من مكونـات « المحتوي الحـراري الحـر » G ، أي $\mu = \partial G/\partial n_i$. ولكن بالنسبـة إلى غاز مكتمـل أو إلى محلول مثالي يمكن حسـاب هذا الكامن الكيميائي .

فهو يساوي : $\mu = RT \log C_i + = \varphi_i (p,t)$ وتكون الدالة φ_i غير متعلقـة الا بالضغط الشـامل وبدرجة الحرارة لا بتركيب المزيج أما C_i فهي التركيز الجزيئي .

وهذ ما أتاح لـ ج . ن . لويس Lewis ان يدخل سنة 1913 مفهوم « النشاط » a_i ، لمكونٍ في مزيج حقيقي .

من أجل هذا عبر عن الكامن الكيميائي بالصيغة التاليـة $\mu = RT \log a_i + \varphi_i(p,T)$ بإعتبـار φ_i لا تتعلق الا بالضغط العام وبدرجات الحرارة وباعتبـارها القيمـة التي يتخذهـا هذا المخـزون « في حالة الاسناد » أو « الحالة المثاليـة » ، والتي قد تكـون مختارة بشكـل اعتباطي . ويسـاوي النشاط التركيز بالنسبة إلى الحلول المثالية ؛ أما بالنسبة إلى الحلول الواقعية فيعرف « معـامل النشـاط » $f_i = a_i/C_i$ ، وتكون فيه C_i التركيز الجزيئي .

ان هذه المعلومات مفيدة للغاية خصوصاً في مجال الكهركيمياء .

III - عدد أفوغادرو

رأينـا ان النظريـة الحراريـة للغازات ، قـد مكنت لو شميـدت Loschmidt من تحديـد قيمـة تقريبية لعدد الجزيئات الموجودة في جزيء غرامي أو « مول » أو عـدد آفوغـادرو N (راجع المجلد الثالث) . ومن أجل الحصول على نتائج أكثر دقة فكر جان برين في التوجه إلى ظـاهرة أخـرى هي الحركة البرونية .

الحركة البراونية - بعد التفحص بواسطة الميكروسكـوب لجزئيـات صغيرة جـداً غاطسـة في سائل كالماء مثلاً نرى ان كل جزئية منها ، بـدلاً من أن تسقط بانتـظام كما هـو متوقـع فإنهـا تتحرك بحركة غير منتظمة تماماً . إنّها تدور وتصعد وتنزل ثم تصعد دون أن تستقر في وضع متوازٍ ومعارضةً في هذا مبدأ كارنو ، انها الحركة البرونية التي سيمت بهذا الاسم نسبة إلى العالم النباتي الانكليزي روبرت براون Brown الذي أشار إليها سنة 1827 . وهذه الظاهرة قد سبق ولاحـظها بـوفون Buffon وسبالنزاني Spallanzani اللذان لحظاها على جزئيات عضوية ، واعتقدا بأنها متعلقة بالحياة .

ان هذه الحركة مستقلّة بصورة مطلقة عن حركة الجزئيات المجـاورة ، وهي مستقلة أيضاً عن الاحتياطات من أجل تأمين التوازن سواء الميكانيكي أو الحراري للسـائل المـرصود (ڤينـر Weiner سنـة 1863 ؛ ورامسي Ramsay سنة 1876 وغـوي Gouy سنة 1888) . وتنشط هـذه الحركـة كلمـا

كانت الجزئيات المعلّقة أصغر (براون وڤينر) .

واستنتج ڤينر بأنّ الاضطراب لا ينشأ في الجزئيات ولا في سبب خارج عن السائل ، بل يجب أن يعزى إلى حركات داخلية تتميز بها حالة السيولة .

وإلى رامسي ، سنة 1876 ثم إلى الأساتذة دلسولس Delsaulse وكربونال Carbonelle وثيرون Thiron سنة 1877 ، يعزى الفضل في تفسير الظاهرة تفسيراً هو الأبسط :

في حالة سطح واسع لا تحدث الصدمات الجزيئية التي هي سبب الضغط أي زعزعة في الجسم المعلق لأن مجمل الصدمات يجتذب أيضاً هذا الجسم في كل الاتجاهات . ولكن إذا كان السطح أقل من الاتساع المؤهل لتأمين تعويض الاختلالات ، يجب التعرف على ضغوطات غير متساوية ومتغيرة باستمرار من مكان إلى آخر ، لا يستطيع قانون الاعداد الكبرى أن يردها إلى الوحدة والانسجام ، ولا تكون حصيلتها معدومة بل تتغير باستمرار زخماً واتجاهاً . . .

وتبنى جان برين هذا المفهوم فاعتقد بأن الجزئيات البراونية يجب أن تعتبر مثل جزيئات سائل ممزوج بالسائل الذي توجد فيه هذه الجزئيات معلقة وانها يجب أن تتوزع ، تحت تأثير الجذب الكوني ، بارتفاعات دقيقة تبعاً لقانون التوازي البارومتري .

وبالنتيجة إذا كان n عدد الجزئيات في كل وحدة حجمية ذات ارتفاع h حيث n_0 هو هذا العدد في الارتفاع صفر ، يجب ان يكون لدينا المعادلة التالية : $\text{Log}\, n_0/n = Mgh/RT$ ، وتمثل M الكتلة الجزيئية ، أما g فتمثل زخم الجاذبية الأرضية ينقص منها ضغط أرخميدس ، أما R فهي ثابتة تتعلق بالغازات الكاملة وأما T فهي درجة الحرارة المطلقة .

وقياس النسبة n_0/n الممكن بواسطة التفحص الميكروسكوبي يتيح ـ إذا كان القانون المعني محققاً (وهذا ما أثبتته قياسات برين بدون نزاع أو جدل) ـ تحديد الكتلة الجزيئية للمادة المستعملة التي تشكل الجزئيات البرونية جزيئاتها . إلاّ أنّ $M = Nm$ ، باعتبار ان m هي كتلة الجزئية ، وهي عنصر قابل للتحديد تجريبياً بواسطة العزل عن طريق الميكروسكوب ووزن عدد معروف من هذه الجزئيات .

ونحن لا نستطيع التركيز على الطرق التجريبية لدقتها الشديدة . نقول فقط ان برين بعد جهود كثيرة عرض في سنة 1908 كقيمة احتمالية هي الأقرب القيمة التالية : $N = 6{,}82.10^{23}$.

نشاط الحركة البراونية ـ في سنة 1905 قام انشتين Eeinstein ثم قام مستقلاً عنه سمولوشوسكي Smoluchowski سنة 1906 فاقترحا ـ على نفس الأسس دائماً ـ نظرية تتعلق بالحركة البراونية . لاحظا أنه من المستحيل تتبع حركة الجزئية عبر الزمن ، فاقترحا تمييز نشاط الحركة البراونية بنسبة المربع الوسطي ξ^2 لتنقل جزئية ما بخلال الزمن τ .

وبيّنا بأن قيمة هذه النسبة هي ثابتة ، ومتعلقة بمعامل الانتشار D الذي تنتشر به هذه الجسيمات وفقاً للمعادلة $D = (1/2)\,(\xi^2/\tau)$.

وهـذا المعامـل الانتشاري يمكن أن يقـرن بعدد افـوغادرو وبمعـامل اللزوجـة η في السائـل الموجود بين الحبيبات ثم بشعاع الجسيمات الكروية a . وهكذا حصلت لدينا المعادلة التالية $D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi\eta a}$ واستعمال الميكروسكوب ، في قياس a و ξ^2 (بالعد المتكرر عدة مـرات) أتاح ، بطريقة أخرى ، تحديد N . واعطت تجارب برين (Perrin) (1908- 1909) كقيمة هي الأكثر احتمالاً $N = 6,88.10^{23}$ باتفاق تام مع القيمة السابقة .

فضـلاً عن ذلك نـذكر انه بنفس الحقبة استـطاع ليـون بـريلوين (Léon Brillouin) ان يقيس بصورة مباشـرة معامـل الانتشار D للحبيبـات وان يبين ان علاقـة هذا الانتشـاربالنشاط ξ^2/τ قد ثبتت بشكل لائق . وأدت دراسة الحركة البرونية للدوران ـ رغم شدة صعوبتها وقلة وضوحها ـ إلى نتائج من نفس النوع .

التأرجحات ـ سنداً للنظرية الحركية في الغازات ، تحتوي الأحجام المتسـاوية لنفس الكتلة السـائلة ، بمعدل وسـطي ، نفس العدد n_0 من الجـزيئات . ولكن من الـواضح جـداً ، في لحـظة معينة ، ان عدد الجزيئات لن يكون تماماً n_0 ، بل عـدداً n ، مرة أكبـر ومرة أصغـر من n_0 : ويكون هنـاك تأرجحـات في عدد الجـزيئات في الـوحدة من الحجم ، وتتميز هذه التـأرجحـات بـالفـرق $(n-n_0)$ ، إنّ القيمة الوسطية لـ $(n-n_0)$ معدومة ، ولكن سمولوشوسكي (1909) في عمل أكمله كيسوم Kessom (1911) استـطاع ان يحسب القيمة الـوسطيـة لـ $(n - n_0)^2$ انـطلاقـاً من مضغـوطيـة الغـاز ، والقيمـة الحاصلة تـدخل عـدد آفوغـادرو . ولكن هـذه التـأرجحـات في عـدد الجـزيئـات تـترجم بتـأرجحات في الثقـل النوعي وبمؤشـر الانكسار ، وكـانت أعمال سـابقة قـام بهـا رايلي Rayleigh ولـورنز Lorenz (1881) قـد بينت انه ينتـج عن التأرجحـات انتشـار الضـوء في كـل الاتجـاهـات ، وبصورة خاصة بشكل زاوية قائمـة في الضوء النـازل ؛ ان الزخم المنتشـر ، بحكم انه يتنـاسب مع مقلوب القوة الرابعة لطول الموجة (λ) ، يكون أزخم في اللون الأزرق مما هو في الأحمر . وقيـاس هذا الزخم المنتشر يتيح قيـاس عدد آفـوغادرو ، على الأقـل في الحالتين اللتين يكـون فيهما هـذا الزخم مهماً نوعاً ما :

1 ـ إذا كانت كتلة الغاز الناشر أو الباث متناهية الكبر ، مثلاً ، في الفضاء بأكمله : فهذا مـا يحدث زرقة السماء . والقياسـات الصعبة تعطي تقريباً $N = 6.10^{23}$.

2 ـ وإذا كان السائل متناهي القابلية للضغط : وهذا ما يحـدث عند مقـاربة النقـطة الحـاسمـة ، إذ عندها تحوّل بعض الجزيئات الإضافية ، محلياً وانتقالياً ، الغـاز إلى مـائـل . وهذا هـو تفسير ظاهرة « التلألؤ الحرج » ، المدروسة تجريبياً منذ 1908 من قبل كـامرلنـغ أونس (Kamerlingh Onnes) وكيسوم (Kessom) . ونجـد هنـا وسيلة جـديـدة لتحـديـد (N) تعـطي تقـريبـاً : $(7,5.10^{23})$.

ودون أن يعرف انشتين الاعمال السـابقة ، قـام سنة 1910 بمعـالجة نفس هـذه المسـائـل وفقاً لنظرية أكثر كمالاً وتوصل إلى نفس النتائج .

تحديدات أخرى لعدد آفوغادرو ـ نـذكر فقط على سبيـل التذكيـر بعض طرق تحـديد هـذا

العدد الأساسي الذي له تأثير وعلاقة في فروع أخرى من الفيزياء : التحديد المباشر للشحنة الأولية (e) (الفارادي $\mathcal{F} = Ne$) ، والاشعاعية [النشاط الاشعاعي] والقياس المباشر لطول موجة أشعة X . نذكر أخيراً ان طيف الجسم الأسود يتيح أيضاً الوصول إلى هذا التحديد (المجلد الثالث) . أما القيمة الأكثر احتمالاً للعدد (N) فهي حالياً ($N = 6,023.10^{23}$) .

IV ـ الحرارة المتحركة الاحصائية أو الترموديناميك الاحصائي

انه بفضل تطبيق الميكانيك الاحصائي الذي بناه مكسويل Maxwell وجيبس وبولتزمان Boltzmann ، دخلت درجة الحرارة في النظريات الجزيئية التي تطورت بشكل ضخم بخلال القرن العشرين وهذا يعني ان الترموديناميك قد غزا عن طريق هذه النظريات كل علوم الفيزياء . ولهذا نكتفي بذكر بعض النقاط المهمة .

درجات الحرارة الشديدة الانخفاض ـ ان التجارب التي أجريت بخلال القرن التاسع عشر من أجل التوصل إلى درجات حرارة أقرب فأقرب إلى الصفر (المجلد الثالث) قد تتابعت بنجاح بخلال القرن العشرين بفضل تقدم التقنية وبفضل تعميق مبادىء الترموديناميك . وكان النجاح الأول الكبير هو التسيل ، بدرجة : 4,2°K (درجة كلفين Kelvin) لآخر غاز « دائم » وهو الهليوم ، وتم التسيل بفضل هـ . كامرلنغ أونس في مختبر ليد Leyde للتبريد الغازي وذلك في سنة 1908 ، مما أتاح عن طريق تبخير الهليوم السائل الحصول على درجات حرارة أقل من 1°K . وأثبتت البحوث المجراة في مختبر ليد وفي مراكز أخرى مجهزة تجهيزاً خاصاً بعض الخصائص غير المعروفة في المادة عند مقاربة الصفر المطلق : ظاهرة التوصيل الأعلى (راجع دراسة ب . مارزين وج . لوميزك الفصل 9 منذ هذا القسم) (كامرلنغ أونس سنة 1911) . من هذه الخصائص الفريدة أيضاً الخصائص المغناطيسية ، التي اكتشفها كامرلنغ أونس ، وب . دبيه Debye ، وب . ل . كابيتسا Kapitsa ، ومنها أيضاً خوارق التمدد الحراري التي أثبتها و . كيسوم ، الخ . ونشير بشكل خاص إلى وجود حالتين محددتين في الهليوم السائل ، أحدهما الهليوم رقم 2 الذي يظهر خصائص من السيولة الفائقة (أثبت ذلك م . وولفكي Wolfke سنة 1927 ؛ وكامرلنغ أونس ؛ والان Allan وجونس Jones ؛ وكابيتسا) وبفضل اعتبارات تدخل في الميكانيك الكانتي وادخال مفهوم شبه الجزيئات ، استطاع المنظر السوفياتي ل . د . لندو Landau ان يضع نظرية لهذه الظاهرة الفريدة وذلك سنة 1941 .

ان استخدام طريقة نزع المغناطيسية مع الاحتفاظ بالحرارة (راجع بهذا الشأن دراسة أ . باور وأ . هاربين ، الفصل اللاحق) التي اقترحها سنة 1920 دبييه وو . ف . جيوك Giauque أتاح الحصول على نجاحات عديدة قرب الصفر المطلق . وطرح قياس درجات الحرارة المحققة مسألة صعبة لأن ظهور ظواهر فيزيائية غريبة لم يسمح باستخراج قوانين فيزيائية كانت مستعملة حتى ذلك الحين . وأمكن التغلب على هذه الصعوبة تدريجياً باتباع ظاهرة نزع المغناطيسية، بتطبيق التعريف الترموديناميكي للحرارة بذكاء ، وهو تعريف له أهمية عملية أكيدة .

وهكذا تم الحصول على نتائج ضخمة ، خاصة بفضل كامرلنغ أونس وجيوك ؛ وتوصّل هذا

الأخير سنة 1933 إلى درجة حرارة تعادل 0,25° K . وفي سنة 1950 تم الحصول على درجة حرارة تساوي 0,0014°K وذلك في مختبر ليد (أنظر الفصل 11 من هذا القسم) .

هذه البحوث المزدهرة فتحت مجالاً واسعاً أدى استكشافه إلى استكشافات جديدة تتعلق بخصائص المادة المكثفة ، كما أدى إلى تطبيقات عملية مهمة جداً خاصة في مجال الالكترونيك (اختراع الموصل الالكتروني (الكريوترون) على يد آ . بوك Buck ، سنة 1956 ؛ استخدام التوصيلية العالية جداً لقياس الاشعاعات الضعيفة جداً ، التحكّم بالدفق الحراري ، انجاز موتورات بدون احتكاك يذكر ، ومغناطيسيات قوية تعمل بمصادر طاقة خفيفة جداً ، الخ) .

تقنية الضغوطات العالية ـ أدت تجارب تسييل الغازات التي جرت في القرن التاسع عشر (المجلد الثالث) إلى اللجوء إلى استعمال الضغوطات المتزايدة الارتفاع . وفي القرن العشرين تحققت تقدمات ملحوظة في هذا السبيل أتاحت اليوم الوصول إلى ضغوطات من عيار 500000 جوّية وإلى اكتشاف خصائص جديدة عديدة (ت . هال Hall ، كندي Kennedy ، دريكهامر Drickhammer) .

وساهم ب . و . بريدمان Bridgman بصورة خاصة في تحسين هذه التقنية وفي دراسة خصائص المادة الخاضعة لضغوطات عالية جداً : دراسة التوصيلية الكهربائية والحرارية في المعادن ، والفروقات في الخصائص الفيزيائية في البلور ، واكتشاف عدة أنواع من الجليد الأثقل من الماء ، واكتشاف حالة جديدة في الفوسفور مستقرة تحت ضغط 12000 جوّية .

ساعدت هذه البحوث في تحسين المعرفة بخواص المادة وبصورة خاصة بالبنية الجزيئية والالكترونية في الجوامد ، كما أتاحت توسيع دراسة التفاعلات الكيميائية ضمن شروط قصوى من الضغط ، ومن درجات الحرارة ، ومن التثبت من بعض فرضيات تتناول البنية الداخلية للكرة الأرضية ، وحول منشأ المواد التي تشكل هذه الكرة (راجع دراسة ج . أورسل ، الفصل 2 من القسم الثالث) . نشير بشكل خاص إلى تركيب الماس الاصطناعي وهو تركيب تحقق سنة 1956 تحت 2000 درجة مئوية وتحت ضغط بلغ 150000 جوّية في مختبرات جنرال الكتريك .

استحداث درجات الحرارة العالية ـ ان اهمية دراسة الفيزياء والكيمياء للظروف القصوى هذه أدت الى بذل جهد مقابل من أجل الحصول على درجات حرارة عالية ، وهو مجال يتميز أساساً بوجود جزيئات مفككة وبوجود ايونات حرة وبانتاج مركبات ماصّة للحرارة ، واتقان الطرق الكلاسيكية : مثل النافث الهيدروجيني الذري (Langmuir 1912 ؛ ر . و . وود Wood, 1921) افران حث ، افران قاذفة الكترونية ، افران كهربائية خاصة ، مشاعل الكترونية ، افران شمسية (ف . ترومب Trombe ، 1946 ، الخ) .

كل ذلك أتاح الوصول بشكل عادي إلى درجات حرارة من عيار 3000 الى 4000 درجة مئوية ، كما أتاح دراسة المادة في هذه الاحوال . واستجدت تفاعلات جديدة وتركيبات طارئة وتقنيات ذات تطبيق واسع ، مما أتاح تطبيقها عملياً . فضلاً عن ذلك ان البحوث الجارية في بلدان مختلفة حول

الذوبان الحراري النووي المحكوم وحول فيزياء البلاسما قد أتاحت انتاج - في زمن قصير جداً - درجات حرارة تبلغ عدة ملايين من الدرجات (راجع دراسة ب . موسين وج . لوميزك ، الفصل 9 من هذا القسم) ، وقام بذلك كابيتسا وكورشاتوف Kourtchatov في الاتحاد السوفياتي ؛ وبوستيك Bostick في الولايات المتحدة ؛ الخ . ان الكثير من هذه المنجزات الرائعة تسمح بآمال كبيرة ، خاصة في مجالات الفيزياء الذرية ، وفي مجالات فيزياء الكواكب وفي الانتاج الصناعي للطاقة ، فهي لم تتجاوز مستوى تجارب المختبرات ؛ وصحيح ان السياسة المتبعة حول السرية العلمية يمكن ان تؤخر نشر قسم من النتائج المحققة .

وبالمقابل هناك تقنية جديدة هي تقنية نافثات النار البلاسما (هي غاز شديد التأيين) التي أتاحت الحصول بشكل عادي على درجات حرارة تتراوح بين 10000 و 20000 درجة مئوية (وحتى 50000) ، وقد دخلت الآن في مجال التطبيق العملي العادي . ويقوم مبدؤها على استخدام التفريغات الكهربائية في الغازات المندرة ، وذلك ببث أو حشر البلاسما في حجم مصغر ذي كثافة تأيينية كبيرة . وأوّل نمط هو البخّاخ أو النافث ذو بلاسما قوسية وقد ابتكر منذ سنة 1920 على يد هـ . جرديان Gerdien وتحقق عملياً سنة 1951 بفضل هـ . ماكر Maecker بشكل سمّي النافث المائي . وهناك نموذج عملي اكثر هو النافث الغازي الذي انجزه ج . جيانيني Giannini ، والباحثون في شركة جنرال الكتريك .

وهناك طريقة مختلفة طبقت في النافثات البلاسماوية ذات التواتر العالي ، وقد تحققت في مختلف مختبرات البلدان . ورغم أنّ هذه الأجهزة لم تستعمل الا منذ عدة سنوات ، الا أنها أتاحت تقديم توضيحات جديدة حول التفاعلات الكيميائية في درجات الحرارة العالية ، وحول الدراسة التجريبية لأنواع البلاسما ، مما أفسح في المجال للعديد من التطبيقات العملية ومنها دراسة النوافير الغازية ذات الحرارة المرتفعة وذات السرعة فوق الصوتية ، وكذلك مسألة عودة المراكب الفضائية إلى الفضاء ، وتلبيس المنتجات المحصنة ، واعداد وتركيب مركبات متناهية التحصين والمناعة .

التحليلات الكهربائية القوية (الكترو ليت Electrolyte) - نشير أيضاً إلى تطبيق الطرق الاحصائية على التحليلات الكهربائية (أي بالكهرباء) القوية : نظرية ديبي Debye وهوكل 1923 (لمزيد من التفصيلات راجع دراسة ب . مرسين وج . لوميزك الفصل 9 من هذا القسم) .

ان محاليل هذه التحليلات الكهربائية تتكون فقط من الايونات : كاتيونات ايجابية وايونات سلبية تتفاعل فيما بينها بشكل كهربائي ستاتيكي وفقاً لقانون كولومب [الكاتيون هو ايون ذو شحنة ايجابية] . وعند نقطة معينة في المحلول تصبح القيمة الوسطى لكثافة الشحنة معدومة اذ يمر بها عدد من الايونات يساوي عدد الكاتيونات . وتقوم الفكرة الاساسية عند ديبي ، وهي فكرة بدت خصبة جداً ، على البحث عما يجري ، لا في نقطة معينة من المحلول بل في نقطة موثقة الربط بايون معين ، وتتبع هذا الايون في تنقلاته ؛ وهنا يكمن تصور مميّز جداً ، ولم يتردد ديبي في تطبيق قوانين الترموديناميك الاحصائي ، حتى في هذه الحالة ، فبين عندئذ ان كل ايون يجب ان يحيط نفسه « بفضاء ايوني » استطاع ديبي تحديد ابعاده وتأثيره الطاقوي على الايون المقترن به

وتوافقت النتائج الكمية توافقاً تاماً مع التجربة على الاقل بالنسبة الى المحلولات المائعة جداً .

الاحصاءات الكانتية ـ ان الميكانيك الاحصائي عند جيبس وبولتزمان قد تركز على الفرضية القائلة بأن الطاقة في جسيم ما معرضة للتغيرات المستمرة وهذا ما يتيح تبين « مبدأ الاقتسام المتساوي في الطاقة » ومن اجل التفسير الصحيح لطيف الجسم الاسود اضطر بلانك الى ترك هذه الاستمرارية والى طرح نظريته في الكانتا (المجلد الثالث) ، وبعد ذلك سيطرت النظريات الكانتية على كل الفيزياء وتوجّب اعتبار كل الطاقات (حتى طاقات الانتقال والتوصيل) مكمّمة أي كانتية . وهذا جرٌّ تغييرات أساسية في عرض الميكانيك الاحصائي : اذ توجّب استبدال المتكاملات بسلاسل : ولم يعد هناك ثابتة تكامل جاهزة بل حلت محلها الثابتة h ، أي ثابتة بلانك ، في كل مكان .

الا أن التغير في المعادلات والصيغ كان بسيطاً ؛ فعلى العموم يجب أن نكتب انه اذا كانت الطاقات الممكنة هي ... E_0, E_1, E_2 ، فان عدد الجزيئات ذات الطاقة E_i يساوي $A \exp$* $(-E_i/kT)$ ويكون عامل النسبة A محدداً بمعرفة العدد الاجمالي للجزيئات . وعندها يسهل حساب الكميات المختلفة الطاقوية .

ان النمو اللاحق في الميكانيك الكانتي قد أثبت الصفة الاساسية في عدم إمكان التفريق بين الجزيئات المتشابهة ، وادخل مفهوم الدوامة (سبين Spin) (مع مبدأ الاستبعاد المنسب إلى بولي) ، وقد أدّى هذا التطرّر إلى أساليب جديدة في تعريف وفي حساب النسبة داخل تركيبة ما .

والنتيجة المتحصلة هي أنّه من الواجب استبدال $A \exp(-E_i/KT)$ بـ :
$1/[\exp(\lambda + E_i/KT) - 1]$ إذا كان مبدأ الاستبعاد لا يطبق (احصاء بوز ـ انشتين ، 1924) وبـ $1/[\exp(\lambda + E_i/KT) + 1]$ اذا كان هذا المبدأ يطبق(احصاء فرمي ـ ديراك ، 1925) .ان الثابتة المعيارية λ تحل محل ثابتة النسبة السابقة وتحسب انطلاقاً من العدد الاجمالي للجزئيات. واذا استثنينا حالات خاصة (مثل حالة الالكترونات الايصالية في المعادن ، الخ .) ، تكون الأسّية دائماً فيه اكبر من واحد ، وتتم الحسابات كما سبقت الاشارة أعلاه .

الحرارة النوعية في الغازات ؛ اورثو وشبه الهيدروجين ـ من بين الكميات الطاقوية التي اتاحت الاحصاءات الكانتية حسابها تذكر بشكل طبيعي الحرارات الذاتية أو النوعية . وفي حالة الغازات يكفي التعرّف ، عدا عن كل الجزيئات إلى عزوم جمودها وإلى تواترات ذبذبتها الخاصة ، وهي مقادير تمكن المطيافية من تحديدها ، على الأقل بالنسبة إلى الجزيئات البسيطة بشكل كاف وخاصة بالنسبة إلى الهيدروجين (H_2) .

ويمكن إذاً وبصورة مسبقة وبالنسبة إلى كل درجة حرارة ، حساب الحرارة الذاتية أو النوعية لغاز الهيدروجين (H_2) اذا كان التوازن الحراري بين كل الجزيئات محققاً . وتكون النتائج ، في درجات الحرارة المنخفضة جداً ، مخالفة للتجربة . وهذا يعود ، اذا كانت ذرتا الهيدروجين (H_2) المكوِّنتان متماثلتين ، إلى أن الدوامات النووية يمكن أن تكون اما متوازية واما مناقضة للتوازي ؛

* exp X يعني أنّ X هو الأسّ .

ولكن الانتقال من إحدى هذه الحالات إلى الأخريات هو قليل الحدوث ، ومن هنا ينتج ان التوازن الكامل لا يحصل الا بصورة بطيئة جداً . واذاً يتوجب في الحقيقة اعتبار الهيدروجين المبرَّد جداً كمزيج من غازين ، الاورتوهيدروجين (وفيه تكون الدوامات النووية متوازيه) والباراهدروجين (وفيه تكون الدوامات متناقضة) (دنيسون Dennison ، 1927) . وفي درجة الحرارة العادية حيث يتم التوازن ، يوجد 1 باراهدروجين و 3 أورتوهدروجين في حين أنه في الدرجات الحرارية المنخفضة جداً وحده الباراهيدروجين يبقى اذا كان التوازن محققاً . وعند إجراء حساب الحرارات الذاتية في الغازين كل على حدة ، ومع افتراض بقاء النسبة كما هي في درجة الحرارة العادية ، نحسب حرارة ذاتية تكون هذه المرة متطابقة مع المعطيات التجريبية . انما يمكن أيضاً بواسطة العناصر المساعدة الملائمة زيادة سرعة التحولات وبالتالي الحصول على درجات الحرارة المنخفضة بالنسبة إلى الباراهدروجين النقي عملياً : ان الحرارة النوعية في هذا الغاز تتطابق مع التوقعات النظرية .

الحرارة النوعية في الجوامد - رأينا في (المجلد الثالث) كيف يتيح مبدأ التقاسم المتساوي في الطاقة ، المطبق على ذبذبات ذرة من جامد متبلّر ، تفسير قانون دولونغ Dulong ، وبيتي Petit ، انما دون الكشف عن واقعة تغير الحرارة النوعية للجوامد مع تغير درجة الحرارة ، وان هذه الحرارة تنزع نحو الصفر كلما إقتربنا من صفر مطلق .

في سنة 1907 خطرت لأنشتين فكرة مفادها ان الذرات المتذبذبة التي تكون الجامد يجب أن تشبه بالمضخمات التي تخيلها بلانك ليوضح طيف الجسم الاسود .

ان الطاقة الوسطى بالنسبة إلى كلّ درجة من الحرية ، لا يجب أن تكون اذاً kT كما يقضي بذلك مبدأ التقاسم المتساوي في الطاقة بل تكون $h\nu/(\exp(h\nu/kT) - 1)$ ، وينتج عن ذلك بالنسبة إلى الحرارة النوعية العبارة التالية $3RE(\xi)$ وفيها تكون $\xi = h\nu/kT$ و $E(\xi) = \xi^2 e^\xi/(e^\xi - 1)^2$ ، دالة نرمز اليها عادة تحت اسم « دالة انشتين » .

وينتج عن هذه الصيغة ، في درجات الحرارة المرتفعة نوعاً ما ، ان الحرارة النوعية تساوي حتماً 3R ، كما يقضي بذلك قانون دولونغ وبيتي ، وان هذه الحرارة تنزع نحو الصفر بدرجات الحرارة المنخفضة جداً . وللاسف ان تراجع هذه الحرارة النوعية بتراجع درجات الحرارة هو اسرع بكثير مما تدل عليه التجربة .

في سنة 1911 اشار نرنست وليندمان إلى أننا نحصل على توافق أفضل اذا افترضنا وجود تواترين ν و $\nu/2$ وبالتالي اذا اخذنا كرمز للحرارة الذاتية هذه الصيغة $(3/2). R [E(\xi) + E(\xi/2)]$.

في نفس السنة اشار انشتاين إلى وجود عدد كبير جداً من التواترات التي تشكل طيفاً كاملاً . وقد عولجت المسألة بآنٍ واحد وبشكلين مختلفين سنة 1912 من قبل ديبي ومن م . بورن وفون كرمان Von Kármán . واعتبر الاول ان مطلق جسم جامد هو وسط مستمر تطبق عليه قوانين

المـطاطية ، امـا الأخران فـاعتبراه كمجمـوعة من النقط المـادية المتـأرجحة حـول عقد من شبكـة مكعبة . وكانت النتائج المحسوسة هي ذاتها ، وتؤدّي على الاقل في تقريب أوّل الى تمثيل الحرارة النوعية بعبارة (ξ) 3RD وفيها تسـاوي $\xi = h\nu/kT$ ، ولكن حيث ν تـساوي تـواتراً اقصى و (ξ) D هي دالة معقدة نـوعاً مـا تنزع نحـو الوحـدة في درجات الحـرارة العاليـة (تأويـلاً ايضـاً لقـانون دولـونغ وبيتي) ، ثم نحو الصفر في درجات الحرارة المنخفضة ، تقريباً مثل مكعب درجـة الحرارة ، ممـا يعطي هكذا نتائج اقرب بكثير الى التجربة (راجع ايضاً في هذا الشأن دراسة آ . غينيه ، الفصل 4 من هذا القسم) .

وبعد ذلك اتاحت التحسينات المتنوعة التي أدخلت على هـذه النظريـة ، ايضاً تحسين هـذا التوافق بتأويل الزيادة الصغيرة ابعـد من قيمة 3R في درجـات الحرارة المـرتفعة جـداً ، ومع تـأويل بعض الشـذوذات الملاحـظة في درجات الحـرارة المنخفضة بـالنسبة الى مختلف الاجسـام ، مثل سلفات الغادولينيوم .

V ـ الطاقة المشعة

رأينا ان بلانك Planck افتتح سنـة 1900 نظريـة الكانتـا ، وفسر بشكـل صحيح طيف الجسم الاسود . ومعادلة بلانـك لم تكن موضـوع أي تغيير ، ويبـدو انها من احـدى الصيغ الاكثـر ضمانـاً ووثوقاً في الفيزياء ، ولكن في القرن العشرين بذلت جهود من أجل توضيح الظاهـرات التي تؤمن ، بواسطة التفاعلات بين الاشعاع والمادة ، ثبوتية هذا التركيب الطيفي للاشعـاع الاسود . ان العمـل الاسـاسي ، قام على مـذكرة قـدمها انشتين سنـة 1917 درس فيها بـالتفصيـل تبادلات الـطاقـة بين الجزئيات التي من شأنها امتصاص ، وبث الاشعاع الذي يحتوي هذه الجزئيات .

في هذه المذكرة قرر انشتين بشكل اكيد انه ،حتى يكون قـانون الاشعـاع الاسود هـو قانـون بلانك ، وعمليـه الامتصاص والبث المتـاليين ، تذكّي الاضـطراب الحراري في الجـزئيات ، من الضروري :

1 ـ ان يؤثر الاشعاع ، كما لو كان مكونـاً من حبيبات أو كـانتا ضـوئية : وهـذه هي الرسميـة الاولى لما نسميه اليوم نظرية الفوتونات .

2 ـ ان يقـدر بث الاشعاع من قبـل جزيء مثـار على الحدوث بشكـل مستقـل عن الاشعـاع الذي يغطي هذا الجزيء (وهذا ما يسمى بالبث العفوي) ، وأن يكون الاشعاع متناسباً مـع كثافـة الطاقة في هذا الاشعاع (وهذا ما يسمى بالبث المثار أو المحفـوز) . ومن الملحوظ تمـاماً أنّـه أي بلانك قد توصل الى اعطاء علاقة الاحتمالات في حالتي البثّ العفوي أو المثار قيمـة تماثـل القيمة التي توصلت اليها النـظريات الاكثـر حداثـة بشأن البث (راجـع أيضاً بهـذا المـوضـوع دراسة ب . مـرسين وج . لوميزك ، الفصل التاسع من هذا القسم) .

وقد امكن توضيح عمل انشتاين وتعميمه فيما بعد . ومع ذلك بقي احد الاعمال الاكثر اهمية التي نشرت حول مسألة « توازن الاشعاع والمادة » .

الفصل الثامن

المغناطيسية

من المعلوم ، بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، تطوّر علمنا بالظاهرات الكهربائية والمغناطيسية . الا ان معرفتنا بالخصائص المغناطيسية في المادة لم تتقدم الا بشكل بطيء . فلنتذكر بعض مراحل تاريخها :

بيّن كولومب الأهمية الاساسية لمفهوم العزم المغناطيسي ، ومنح عزماً للجزيئات بالذات (المجلد الثاني) . وقرّر بواسون Poisson نظرية المغناطيسية بالتأثير (المجلد الثالث) ؛ واقترح أمبير Ampère فرضية التيارات الجزيئية (نفس المرجع) . ولم يكن الامر يتعلق حتى ذلك الحين الا بالمغناطيسيات الحديدية مثل الفولاذ والحديد الابيض ، الخ . واكتشف فراداي ان كل الاجسام يمكن ان تتمغنط . وقسمها الى ثنائية المغناطيس والى كاذبة المغناطيس والى حديدية المغناطيس ، وقاس هذه الخصائص . وبعد ذلك بقليل قام و . تومسون Thomson فطوّر نظرية رياضية حول المغنطة على اسس حدثانية ظاهرية . واخيراً توصل و . ويبر Weber ، من خلال أفكاره العامة حول الكهرباء الى اعطاء صورة جسيمية عن التيارات الجزيئية عند أمبير ، وهذه الصورة هي رسيمة لمعارفنا الحالية .

ومن بين الاعمال اللاحقة يجب ان نظهر اعمال المهندس ج . آ . ايونغ Ewing الذي بيّن في الفترة 1890 - 1892 أهمية التزاوج بين المغناطيسات البدائية المتجاورة ، في مجال الحديد الممغنط .

ووضع لهذه الغاية نموذجا : عدداً كبيراً من الابر الصغيرة البوصلية وضعت على ركائز مصفوفة بانتظام وقريبة بعضها من بعض حتى يكون اثرها في بعضها البعض مغناطيسياً محسوساً : في حقل خارجي متصاعد أو هابط ، لوحظت تغيرات مفاجئة في اتجاه مجموعات كاملة من الإبر ، وشكلت الخطوط المنحنية الملحوظة في حصيلة المغنطة حلقات غير قابلة للارتداد شبيهة بمنحنيات التأخيرات في ردات الفعل في الحديد وفي النيكل .

انها تجربة ملفتة ، ولكن الامر ، كما سنرى لا يمكن ان يتعلق بتزواج مغناطيسي ، والتفسير

الحقيقي لهذه الاستنتاجات المهمة جداً بالنسبة إلى التقنية كان عليه أن ينتظر أكثر من 40 سنة . وفي نفس الحقبة تقريباً نشرب . دوهيم نظرية المغنطة المرتكزة على مبادىء الحرارة المتحركة أو الترموديناميك (1888) .

طرح بيار كوري Pierre Curie ـ ولكن كي يكون تطبيق الترموديناميك مثمراً بحق على هذه الظاهرات ، كان لا بد من معرفة كيفية تغير الخصائص المغناطيسية في الاجسام تبعاً لتغير درجة الحرارة . وقد أجريت بعض التجارب في هذا الشأن ، ولكن هذا الحقل من البحث فتح بحق من قبل بيار كوري . وعمله الاول كان اطروحته سنة 1895 متبعاً عن قرب نشر هـ . آ . لورنتز Lorentz لنظرية الالكترونات ، فدشّن الحقبة الحديثة في تاريخ المغناطيسية ، واستطاع بقياسات في غاية الدقة والبساطة ان يضع قانونين أساسيين حمل القانون الثاني منهما اسمه :

القانون الاول : بالنسبة الى الاجسام المعاكسة المغناطيسية ، وحيث تكون المغنطة المشحونة من قبل حقل مغناطيسي ، باتجاه معاكس لهذا الاخير ، يكون معامل المغنطة ـ اي معامل النسبة بين هاتين الكميتين ، اذا رُدَتا الى وحدة الكتلة ـ الضعيف جداً والسلبي ، مستقلاً عن درجة الحرارة .

القانون الثاني : بالنسبة إلى الاجسام شبه المغناطيسية ، حيث يكون المعامل ايجابياً دائماً وصغيراً نوعاً ما ، فهو يتغير باتجاه عكسي مع تغير درجة الحرارة المطلقة .

واستنتج كوري ما يلي : ان الفرق في تأثير درجة الحرارة على معامل المغنطة في الاجسام (شبه) المغناطيسية ، والاجسام المعاكسة المغناطيسية ، هذا الفرق بارز بشكل مطلق ، وهذه النتائج تؤيد النظريات التي تعزو المغناطيسية والمغناطيسية المعاكسة الى أسباب مختلفة .

اما الاجسام الحديدية الممغنطة فليس لها معامل مغنطة محدد تماماً بل هي مركز ظاهرات غير ارتدادية . الا اننا نستطيع تحديد « منحنى المغنطة » في درجات حرارة مختلفة ، وتدل هذه التجارب على ان الجسم الحديدي المغناطيسي يتحول بصورة تدريجية ، عندما نسخّنه ، فيتخذ خصائص الجسم ذي المغنطة الخفيفة (او شبه المغنطة) .

ان زوال المغنطة الحديدية في درجة الحرارة المرتفعة هو ظاهرة معروفة نوعياً ، منذ عصر النهضة على الاقل . ودرجة الحرارة التي تنتهي عندها المغنطة معروفة تماماً وتسمى « نقطة كوري » .

نظرية لانجفين . ـ في سنة 1905 فقط توصل ب . لانجيفين ، بعد محاولات قام بها و . فوات Voigt وج . ج . تومسون الى وضع نظرية الكترونية كاملة للظاهرات المغناطيسية المعاكسة وشبه المغناطيسية ، واستلهم افكار لورنتز Lorentz ولارمور Larmor ، والنتائج التجريبية التي توصل اليها كوري ، فاستطاع ان يصف بدقة التفاعليتين الذريتين المختلفتين اللتين اعطتنا مفتاح قوانين اكتشفها هذا الاخير اي كوري .

فبالنسبة الى المغناطيسية المعاكسة كانت الفرضيات الركيزية قريبة من فرضيات كان وضعها

في الماضي و . ويبر ، انما مترجمة بلغة الكترونية . اما نتائج هذه الفرضيات فقد طورت بفضل الحساب الدقيق .

واذا كانت غالبية الاجسام ذات مغناطيسية معاكسة فذلك انه في خلاياها تتجه المدارات الالكترونية باتجاه معاكس بحيث ان مفاعيلها المغناطيسية البعيدة يعادل بعضها بعضاً وبحيث يكون عزمها الحاصل معدوماً . ولكن ان وضعنا بصورة تدريجية حقلاً مغناطيسياً خارجياً فان تغيره يولد في كل الفضاء ـ كما بين ذلك ماكسويل ، (المجلد الثالث) ـ حقلاً كهربائياً حاثاً ، يلتف حول خطوط مغناطيسية ، ويسرع أو يؤخر حركة الالكترونات بشكل يتعارض مع التغير الذي ولّده (نفس المرجع) اي انه يخلق حقلا مغناطيسياً معاكساً . وكل خلية تكتسب بالتالي وبصورة تدريجية عزماً حاثّاً ، أي مشحوناً مغناطيسياً ، موجهاً باتجاه معاكس للحقل الحاث ويتناسب مع القيمة النهائية لهذا الحقل .

ان البنية الالكترونية للجزئيات تتغير قليلاً جداً بتغير درجة الحرارة : وكذلك الحال بشأنها فيما يتعلق بقدرتها المحتملة على التمغنط المعاكس .

ان المغناطيسية المتوازية Paramagnétisme ، كما هي برأي أمبير وفراداي وويبر ولانجيفين تفترض ان خلايا الاجسام المغناطيسية تحمل كلّها عزماً دائماً ، وهذا العزم يتحدد ببنية هذه الاجسام الالكترونية : في هذه الجزيئات الخاصة ـ ولاسباب كانت مجهولة في تلك الحقبة ـ لم يعد التكافؤ المحكى عنه يتحقق .

بالنسبة إلى ويبر ، هناك قوى مطاطية ذات منشأ مجهول توجه هذه العزوم بكل الاتجاهات بحيث تلتغي ـ في حقل عدم ـ كل مغنطة ظاهرة . ان نظرية لانجفين لا تُدْخِل الا طاقتين : الطاقة المغناطيسية في المغناطيسات الاولية ، في حقل خارجي ، وطاقة التحرك الحراري . وهذه الطاقة الاخيرة هي التي تزرع الاضطراب في توجه العزوم ، وهي التي ترد الى الصفر المغنطة الحاصلة ، في حين ان الحقل الخارجي يعمل على توجيه كل هذه العزوم بشكل يوازي خطوط القوى . هناك صراع بين هذه التوجهات المتعاكسة . وهي تنتهي بان تتوازن ، وهذا التوازن محكوم بصيغة وضعها بولتزمان بشكل « نظرية حركية في الغازات » وتدل هذه الصيغة على ان التوزيع الاحصائي ـ في درجة حرارة مطلقة T ـ لعدد كبير من الانظمة ، في ما بين مختلف مستويات طاقتها W ، يتناسب (اي التوزيع الاحصائي) مع العامل $\exp(-W/kT)$ وفيها تكون k ثابتة بولتزمان (المجلد الثالث) .

وتجدر الاشارة ان بلانك ولانجيفين كلاً على حدة كانا الاولين في توسيع تطبيق هذه الصيغة لتشمل حركات اخرى غير مجرد الانتقالات وبالتالي اثبات اهميتها .

وافترض لانجيفين (كما كان من الطبيعي ان يكون الامر سنة 1905) ان كل الاتجاهات بالنسبة الى الحقل الخارجي H متساوية في امكانها . وهذه الفرضية قادته ، بالنسبة الي المغنطة الحاصلة ، الى قانون بسيط يصف خصائص الكثير من الاجسام المتساوية المغناطيسية عن قرب

قريب . في درجات الحرارة المرتفعة والمتوسطة تكون الطاقة W في المغناطيسات الاولية ، داخل الحقول التي نعرف كيف نحدثها ، صغيرة بالنسبة الى الطاقة الحرارية kT : وعندها تصبح الاسات المثقلة مجرّد مستقيمات والمغنطة الحاصلة تصبح مناسبة للنسبة H/T من الحقل الواقع في درجة حرارة مطلقة . مما يعني وجود معامل مغنطة مستقلّ عن الحقل ، ويتناسب عكسياً مع T وهذا هو قانون كوري . وفي درجة حرارة منخفضة جداً داخل الهليوم السائل يحصل العكس ، وفي داخل الحقول القوية تكون W/kT كبيرة ، والاضطراب الحراري لا يمكنه ان يقضي على الاضطراب أو التشويش ، وتتموضع المغناطيسات الجزيئية على موازاة الحقل تقريباً . وينتج عن ذلك مفعول « اشباع تساو مغناطيسي » كان قد لوحظ لاول مرة سنة 1914 ، في ليد Leyde ، من قبل كامرلين اونس Kammerlingh ، في سولفات الغادلينيوم . وسوف نعود الى نتيجتين مهمتين من نتائج النظرية كان لانجيفين قد اشار اليهما وهما : قياس العزوم المغناطيسية الجزيئية ، وظاهرة المغناطيسية الحرارية .

نذكر ان احدى فرضيات لانجيفين الاساسية وهي وجود جزيئات أو ذرات تحمل مدارات الكترونية خالقة لعزوم مغناطيسية دائمة ، تبدو غير مفهومة اطلاقاً ، في النظرية الكلاسيكية ، (رغم انها تعود في الواقع الى امبير) . وحده الكم العملي الذي اكتشفه بلانك هو الذي امن لهذه المجالات الاستقرار المطلوب . ولم يدرك ذلك الا بصورة تدريجية ، فقط بعد ان كان بوهر Bohr قد طور نظريته حول الذرة .

ومن جهة أخرى اهمل لانجيفين عن قصد التفاعلات الجزيئية التي من شأنها ان تضايق التوجه الحر للعزوم الاولية . فقد عرف ان قانونه ، ومنحنى المغنطة تبعاً للحقل ، يطبقان فقط على الاجسام التي يمكن ان تسمى ، تشبيهاً مع الغازات الكاملة ، الاجسام المتوازية المغناطيسية ، الكاملة . ولكن من بين هذه الاجسام يوجد العديد من البلورات التي تتلامس فيها الذرات . هذا الحدث الغامض لا يمكن فهمه الا عن طريق النظرية الكانتيه حول بنية الذرات والجزيئات والبلورات فقط .

الحقل الجزيئي الذي قال به بيار ويس . المغنطة المفاجئة ـ ان التفاعلات بين حاملات العزوم تلعب دوراً مسيطراً في المغناطيسات الحديدية ، وكذلك القوى التي قال بها فان دروالس Van der Waals ، بين الجزيئيات في السوائل وفي بعض الاجسام الجامدة . في حين اكتفى لانجيفين بالاشارة الى هذه المماثلة ، عمل بيار ويس Pierre Weiss على توضيحها وتطويرها . فقد دلته التجارب المتتالية بين 1896 و 1905 على بلورات حديدية مغناطيسية (المانييت والبيروتين) ذات الخصائص المتباينة ، على مفهوم « الحقل البنيوي » . وفي سنة 1907 نشر فرضيته حول الحقل الجزيئي .

ان هذا الحقل هو فعل توجيه متبادل بين حاملات العزم المغناطيسي ، ونمط « المفاعيل التعاونية » ، التي تلعب دوراً مهماً جداً في الفيزياء الكيميائية الحديثة : فهو يزداد تبعاً للتوجه المشترك اي تبعاً للترتيب الداخلي . وهذا الترتيب ، وهذا التوجه المشترك يقاسان بفعل المغنطة .

ويؤمن ويس بأنّ الحقل الجزيئي يتناسب مع المغنطة ، وهو يراكم هذه الفرضية مع قانون المساواة المغناطيسية الذي قال به لانجيفين ، وحصل بالتالي على تفسير بسيط وخصب (رغم انّه غريب ومغالط في الظاهر) للمغناطيسية الحديدية . وقد بين بالفعل ان الحالة المستقرة في جسم حديدي مغناطيسي تتضمن ، في درجات الحرارة الوسطى والمنخفضة ، وخارج كل حقل ، مغنطة مفاجئة. وهذه المغنطة تعود الى الحقل الجزيئي ، اي الى التفاعلات التعاونية بين حاملات العزوم او الشحنات المغناطيسية . وتنزع هذه المغنطة الى الاشباع في جوار الصفر المطلق . وعندما ترتفع الحرارة ، تنخفض المغنطة اكثر فاكثر لتزول عند نقطة كوري . وعندها يصبح الجسم متساوي المغناطيسية اي عديمها ظاهراً فيخضع لقانون كوري ـ ويس وهو تعميم لقانون كوري .

واذا كانت المغنطة المفاجئة لم تظهر إلا في التجارب المعتادة ، فذلك لانها لا تؤثر ـ حتى في البلورات الوحيدة التكوين ـ في مجالات صغيرة يكون فيها التوجه مختلفاً بين بلورة واخرى ، بحيث يحصل تكافؤ وتعادل في الاجمال . ودور الحقل الخارجي يقوم على رد هذه التوجهات الجزئية الى توازٍ كامل نوعاً ما . وإذا كان هناك تخلّف ـ في الحديد القاسي مثلاً ـ فذلك لان ضياع المجالات لا يستمر حتى النهاية .

وظهرت افكار ويس غريبة في بادىء الامر ، ولكن تطور النظرية واكتشاف ظاهرات جديدة بفضلها ادیا بصورة تدريجية الى الاقتناع بها . وفي سنة 1919 استطاع باركهوسن Barkhausen بعد ان استعمل مضخّماً للصوت ، ان يسمع طقطقة سببها رجوع متتالٍ للمغنطة من مختلف المجالات الي حقل متغير . وفي سنة 1931 استطاع بيتر Bitter بعد ان غطى سطح بلورة وحيدة بغشاء غروائي من مادة مغناطيسية ، ان يرى المجالات بواسطة المكروسكوب ، وان يدرس بالتالي سلوكها في حقل خارجي . ان هذا التوسيع للطريقة القديمة التي تستعمل برادة الحديد ، قدم معلومات ثمينة حول المغناطيسية الحديدية .

حرارة نزع المغنطة والاقتراب من الصفر المطلق ـ استطاع لانجيفين بعد ان طور نظريته الاحصائية حول توازي المغناطيسية ، ان يبين أنّ كل تغيير في المغنطة يجب ان يقترن بظاهرة حرارية . وبالفعل ان نزع المغنطة مثلاً بحكم أنّه تضليل للعزوم النموذجية الأولية ، يتوافق مع زيادة في الاضطراب الجزيئي وبالتالي في قصور الحرارة الذي هو احد مقاييس هذا الاضطراب . وكان لا بد اذاً ـ اذا اردنا الابقاء على درجة حرارة الجسم الذي تنزع منه مغناطيسيته ـ من اعطائه الحرارة اللازمة . وإلاّ ، اذا كانت العملية تجري ضمن عازل مغناطيسي ، فإنّ الحرارة الضرورية لتخريب المغناطيسيات الاولية ، تؤخذ من الحركات الاخرى الجزيئية ، وعندها يبرد الجسم . هذا الأثر كان من الصعب تحقيقه في الاجسام المتساوية المغناطيسية في درجة الحرارة العادية . ولكن كما ذكر ديبي Debye وجيوك Giauque سنة 1924 يصبح هذا الاثر ملحوظاً في جوار الصفر المطلق ، وذلك لسببين : الاشباع المغناطيسي السهل في الحقول القوية ، وتدني قيمة الحرارة النوعية الملازمة لذبذبات الذرات في الاجسام الصلبة .

وتمت التجربة على بلورات متوازية المغناطيسية مغطّسة في الهليوم السائل (جيوك ، دي

هاس de Haas وسيمون Simon) . ووضعت طريقة « نزع المغناطيسية في العازلات الحرارية » ، واتاحت استكشاف مجال درجات الحرارة التي تقل عن 1°K حتى الي ما وراء 0,01° K (درجة كلفين Kelvin) .

نقطة كوري ، الانتقال من الدرجة الثانية ـ وهناك ظاهرة اخرى مهمة يمكن تفسيرها بطريقة مماثلة : عندما يرفع حديد ممغنط بصورة تدريجية الى حد نقطة كوري ، فان مغنطته المفاجئة والتي كانت قريبة من حد الاشباع ، تأخذ بالتناقص بسرعة : ويستقر الاضطراب بين اتجاهات العزوم الاولية وينتج عن ذلك حفظ حرارة يضاف الى المحفوظات الحرارية الحاصلة من الحركات الذرية الاخرى . ان كل حديد مغناطيسي يجب ان يكون له ـ فوق نقطة كوري ـ خرق للحرارة الذاتية : فتزداد هذه الحرارة ثم تصل الى حد اقصى حادّ عند درجة حرارة كوري ، ثم تسقط بعدها فجأة لتستقر عند قيمة « عادية » . وقام ب . ويس بحساب وبقياسات (1908) : واثبتت التجربة تقريباً توقعات نظرية الحقل الجزيئي .

وعدا عن الخرق في الحرارة الذاتية ، تم التنبؤ وتم رصد خرق مطابق في معامل التمدد (شيفينار Chévenard ، بوير Bauer ، فولر Fowler وكابيتسا ، 1929) . ان نقاط كوري حول الحديد الممغنط كانت اولى « نقاط الانتقال من النوع الثاني » أو « الانتقالات بين النظام والاضطراب » (بدون تغيير في المرحلة) وهذه النقاط قد درست بصورة كاملة تقريباً . وتم تعريف هذه الظاهرات وتحليلها من وجهة نظر حرارية تحركية عامة سنة 1933 من قبل اهرنفست Ehrenfest ، ولكن نظرية الحقل الجزيئي ، عند ويس استخدمت كنموذج أول في التفسير التفصيلي لهذه الظاهرات .

ان هذه النظرية هي تقريب نصف عملي . ولا شيء في الفيزياء الكلاسيكية يبرر وجود طاقة بمثل ضخامة هذا التفاعل ، تتناسب مع مربّع المغنطة . وفهم ويس ان هذه الطاقة هي اكبر من ان تنسب الي قوى مغناطيسية . وفي الواقع انها كالعزوم الاولية بالذات من منشأ كانتي .

المغنيطون ـ ابتداءً من سنة 1913 ، وانطلاقاً من مذكرات أساسية وضعها نيلس بوهر حول بنية الذرات ، أخذت النظرية الكانتية حول المغناطيسية تتطور . وفي الوقت ذاته تقريباً شاع في جميع الجهات ان التكميم في المدارات الالكترونية يؤدي إلى وجود عزم مغناطيسي أولي تتحدد قيمته بثابتة بلانك h ، وبالشحنة الأولية e وبالكتلة m في الالكترون ، وانها تسمى مغنيطون بوهر . وهكذا وجدت مبرّرات لفرضيات أمبير وويبر ولانجيفين .

وقد سبق بعدة سنوات ، ان قام ب . ويس وتلاميذه باتخاذ عدد كبير من القياسات الدقيقة حول معاملات المغنطة المتوازنة في مغناطيسيتها ، لكي يستخرج منها بفضل صيغة لانجيفين ، قيمة العزوم الذرية . ومنذ 1911 استنتج ويس من ذلك ان كل هذه العزوم هي مضاعفات كاملة لعزم أولي هو مغنيطون ويس الذي تعطيه التجربة قيمة أعلى بقليل من خمس مغنيطون بوهر .

إلا ان القياسات الدقيقة التي جرت سنة 1918 من قبل بوير وبيكار Piccard حول الغازات

المتوازنة المغناطيسية ـ حيث يكون الدوران الحر للعزوم الأولية مؤكداً تقريباً ـ لم تثبت نظرية مغنيطون ويس بل أثبتت ، في حالة الاوكسجين نظرية بوهر .

النظرية الكانتية . تكميم الفضاء ـ ان التطور السريع في نظرية الكانتات غيّر وأوضح بصورة تدريجية الافكار حول المغناطيسية . في سنة 1915 طبق آ . سومر فيلد على حركات الالكترونات في الفضاء طرق التكميم التي وضعها بوهر . وبين انه ليس بالامكان حفظ الفرضية (التي وضعها لانجيفين) والقائلة بإمكانية متساوية ، في كل اتجاهات العزوم الأولية بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي . هنا يدخل التقطيع كما في أي مكان آخر وفيما خصّ « المدارات ذات الكانتوم السمتي » (الكمية العظيمة) ، مثلاً ، لا يمكن ان يكون العزم المغناطيسي الحاصل من حيث المبدأ إلاّ موازياً أو معاكساً ـ موازياً أو عامودياً على الحقل .

في سنة 1921 أثبت سترن Stern وجرلاخ Gerlach بتجربة مباشرة « هذا التكميم في الفضاء » : ان النافورة من ذرات النحاس المقذوفة في الفضاء تنفصل في حقل مغناطيسي غير متجانس إلى نافورتين مختلفتين تماماً ومتوافقتين مع التوجهات الموازية والمعاكسة ـ المتوازية . ولكن المكوِّن الثالث غير موجود ، والانحراف الملحوظ يتيح حساب قيمة العزم : وهكذا تقريباً يتم العثور على مغنيطون بوهر .

ان هذه الطريقة حول النافورات الذرية (أو الجزيئية) تلحق مباشرة بالمغناطيسية في شكلها الأولي ، دون ان تقتصر ، كما هو الحال بالقياسات الكلاسيكية ، على الآثار الاحصائية . وفيما بعد استعملت هذه الطريقة كثيراً .

دوامة الالكترون وعزمها المغناطيسي ـ في سنة 1925 اكتشف أوهلنبك Uhlenbeck وغود سميت Goodsmit ان البنية في ضمائم الخطوط الطيفية وأثرها المنسوب إلى زيمن يفسّران تماماً إذا افترضنا ان حالة الالكترون لا توصف بكاملها بفضل تحديد موقعه وسرعة انتقاله في الفضاء ، بل انه فضلاً عن ذلك مزودٌ بدوران حول ذاته أو « بدوامة » ، وهي حركة مكمّمة بشكل أساسي : ان عزمه الحركي يُساوي نصف كانتوم (h/2) ويخلق عزماً مغناطيسياً يساوي مغنيطون بوهر . والعلاقة بين العزم المغناطيسي والعزم الحركي هي ضعف ما تنبأ به الحساب بالنسبة إلى مدار الكتروني (e/m بدلاً من e/2m) وهذا يتوافق مع نتيجة حصلت في النظرية الكلاسيكية بالنسبة إلى كرة مكهربة على يد آ . لورنتز . وأخيراً ، في حقل خارجي لا تستطيع هذه العزوم الا أن تأخذ اتجاهين : المتوازي وعكس المتوازي .

الآثار المغناطيسية الدورانية ـ ان اكتشاف دوامة الالكترون ، الذي أوحت به الارصاد الابصارية ، غيّر بعمق تمثلنا أو تصورنا للظاهرات المغناطيسية . فهذا الاكتشاف فسر أحجية طرحتها دراسة المفاعيل المغناطيسية الدورانية التي اكتشفت بصورة مستقلة سنة 1914-1915 من قبل بارنت Barnett في أميركا ومن قبل انشتين وهاس في اوروبا .

ومبدأ هذه التجارب بسيط نوعاً ما .

فقد كان معروفاً منذ عشرين سنة ان كل عزم مغناطيسي يرتبط بعزم حركي في جزيء مكهرب ، مثل الالكترون مثلاً . وإذاً يمكن توقع مفعولين قابلين للقياس :

1 ـ اذا قلبنا بسرعة الحقل ، فاننا نقلب مغنطة قضيب صغير من الحديد الأبيض ، ونعكس اتجاه الدوران ، وعزم اندفاع الكتروناته المغناطيسية ؛ وينتج عن ذلك مزدوج : فيعطي قياس هذا المزدوج العلاقة أو النسبة المغناطيسية الدورانية بين العزم المغناطيسي الأولي والعزم الحركي . تعطي نظرية المسارات القيمة e/2m؛ وأعطت التجارب الدقيقة والمضبوطة الذي قام بها هاس سنة 1915 قيمة مضاعفة e/m .

2 ـ وبالمقابل ان نحن دورنا فجأة اسطوانة صغيرة من الحديد فإنّنا نعطي لجميع الكتروناتها عزماً حركياً وبالتالي عزماً مغناطيسياً .

ان بارنت هو الذي توقع ظاهرة المغنطة بفعل الدوران وقاسها سنة 1915 ، وهذه الظاهرة هي التي أعطت لنسبة المغنطة الدورانية نفس القيمة التي يعطيها المفعول المعاكس .

ان هذه التجارب ، لو لم تقلل أهميتها ودقتها ، كان يمكن ان تكشف الدوامة قبل عشر سنين من حصولها . وبعد ان فهمت هذه التجارب تماماً أثبتت ان المغنطة الحديدية هي بصورة أساسية أثر من اثار الدوامة : والعزوم المغناطيسية هي من اثار الدوامة اما الحقل الجزيئي فيشكل تزواجاً بين الدوامات المتجاورة ، تزواجاً يعطيها في مجال ويس اتجاهات متوازية .

ولكن كلّ هذا لم يكن ليتّضح تماماً الا بعد سنة 1925 اي بعد تطور الميكانيك الكانتي الجديد .

تطور النظرية الكانتية حول المغناطيسية ـ في هذه الاثناء كان بوهر Bohr قد لاحظ منذ سنة 1920 ان المتساوية المغناطيسية والحديدية المغناطيسية هما وقف على « عناصر الانتقال » وهي مجموعات كيميائية حيث تنمو وتتزايد بصورة تدريجية طبقة الكترونية داخلية ما تزال غير كاملة . وهكذا يمكن ان نبرر ، على الاقل في بعض الحالات ، فرضية الدوران الحر .

في سنة 1923 كان سومرفيلد Sommerfeld قد بيّن انه بالامكان ، بعد معرفة مفاعليها (المسماة مفاعيل زيمان) حساب « عدد المغنيطونات » المحمولة بالذرات المتوازية المغناطيسية ، بصورة مسبقة وبالواسطة المطيافية . وتم الحساب سنة 1925 ، بالنسبة الى ايونات « التربة النادرة » ، على يد هوند Hund ، بالاستعانة بالدوامة وتزاوجها مع المدار . ان هذا الحساب ، المستكمل في الميكانيك التموجي ، على يد فان فلك Van Vleck (1932) ، قد أوضح بشكل رائع احداثاً مرصودة خاصة من قبل كابريرا Cabrera (1929) . ولم تعد القضية قضية سلم بسيط مؤلف من الاعداد الصحيحة ، بل قضية تعابير رياضية أكثر تعقيداً .

اما الأيونات من عائلة الحديد ، فالطبقة الالكترونية غير المكتملة فيها هي أقل عمقاً مما في التربات النادرة ، ولم يعد هناك وجود للدوران الحر ، والمدارات فيها شبه مجمدة تقريباً . ان نظرياتها لم تتوضح الا ببطء .

ومكن الميكانيك التموجي أيضاً من فهم المكونة المركزية في تجربة سترن وجيرلاخ . وتتطابق مع ما يسمى بالمدارات ذات الكانتوم السمتي (حالة أساسية في الهيدروجين ، والذرات القلوية أو الفضية) وظائف موجاتٍ « أو مدارية » دونما عزم حركي ، ولا عزم مغناطيسي . ولا يوجد الا عزم الدوامة وهذا العزم هو الذي أثبتته التجربة ، مع اتجاهيه .

في سنة 1927 ، قام ب دبيي P. Debye من جهة ، ول . بريلوين L. Brillouin من جهة أخرى بحساب القانون الكانتي العام الذي يحكم المغناطيسية المتساوية وبيّنا ، انه في الحقول الضعيفة تبقى صيغة لانجيڤين Langevin تقريباً جيداً ويسمح بحساب العزوم الأولية بشكل صحيح .

تأويل المغناطيسية الحديدية من قبل هيسنبرغ ـ ان الميكانيك الكانتي هو الذي كشف أيضاً الطبيعة الحقة للحقل الجزيئي الذي قال به ويس Weiss ، وذلك عندما أدخل هذا المفهوم في اطار اعم . في سنة 1926 ، ناقش هيسنبرغ « معادلة الموجة » في ذرة الهليوم (ذات الالكترونين) . واظهر الحل المقارب لهذه المعادلة ـ التي يجب ان تحسب حساباً للدوامة ، ولمبدأ بولي Pauli ، ولعدم إمكانية تمييز الالكترونات ـ في الطاقة الكهربائية تعبيراً غير متوقع هو « الطاقة البديلة » المرتبطة بواقعة أنه يمكن لالكترونين أن يتبادلا الاماكن والأدوار في بناء ذري دون ان نتتبع ذلك نحن ـ حتى ولو كانا مفصولين « بحاجز طاقوي كامن » غير قابل للاختراق بحسب النظرية الكلاسيكية .

وبعد سنة أتاح حساب مماثل ، (مع نفس « التعبير التبادلي ») ، لهايتلر Heitler ولندن London ان يبنيا النظرية الكانتية في الاتصال الكيميائي . في ذرة الهليوم ، كما في جزيء الهيدروجين وفي غالبية الجزيئات ذات العدد المزدوج من الالكترونات ، يعمل التزاوج الكانتي بين هذه الالكترونات على ان تتعارض الدوامات فيما بينها ، اثنين ضد اثنين ، في حالتها الأساسية كطاقة دنيا . ولهذه الغاية تبدو هذه البناءات الجزيئية عكسية المغناطيسية .

في سنة 1928 ، اشمل هيسنبرغ Heisenberg هذه النظرية الشبكات البلورية الحديد مغناطيسية ، وهي مسألة صعبة اقتضت فرضيات عشوائية نوعاً ما وتقريبات . ولكنه بيّن مع ذلك ان الحقل الجزيئي يعود في أصله إلى الطاقات التبادلية الالكترونية بين الذرات المتجاورة . وانه ، في هذه الحالة ، ونتيجة عدد المتجاورات ومسافاتها ، يتوجب ان تتطابق حالة استقرار الطاقة الدنيا مع توازي قسم على الاقل من الدوامات ، أي مع مغنطة مفاجئة .

ووفقاً للتأويل الكانتي للحقل الجزيئي ، من قبل هيسنبرغ (Heisenberg) ، أي التأويل المعاصر لاعمال فان فلك Van Vleck حول المغناطيسية المتساوية ، كانت نظرية المغناطيسية تقوم على أساسات متينة أتاحت حدوث تطور جديد في الثلاثين سنة اللاحقة . وكان هذا التطور سريعاً ، في اتجاهين مختلفين تماماً ، الأمر الذي يضطرنا إلى اعطاء عرض موازٍ لمختلف فروع المغناطيسية .

موجات الدوامات ـ بعد تحديد طبيعة التفاعلات بين حاملات العزوم المغناطيسية بيّن هيسنبرغ ان هذه التفاعلات ذات مدى عمل قصير بحيث ان ذرة معينة لا تكون في حالة تفاعل الا

مع بعض جاراتها . هذه الملاحظة المهمة بشكل خاص فتحت الطريق امام كل الاكتشافات اللاحقة تقريباً وذلك حين أدخلت مفهوم « الحقل الجزيئي المحلي » الذي يمكن تعريفه بأنه الحقل الجزيئي الوهمي المؤثر في عزم مغناطيسي . هذا الحقل يترجم التفاعلات بين هذا العزم وبين عزوم الذرات المجاورة . وأتاحت هذه الملاحظة امام فليكس بلوخ Bloch بان يقوم باكتشافين أساسيين من أجل تفسير الظاهرات المغناطيسية . وكان أول اكتشاف قد حصل سنة 1934 ويتعلق بالمغنطة في درجات الحرارة المتدنية جداً .

لننظر إلى حديد ممغنط عند درجة الصفر المطلقة . في هذه الحالة تكون العزوم المغناطيسية في كل ذراته متوازية . نرفع درجة الحراة ، تثير الحرارة اضطراب هذا الترتيب ، فتظهر تأرجحات . وعندما يُغير أحد العزوم فجأة اتجاهه الوسطي ، يؤثر هذا التأرجح على الجارات ثم ينتقل شيئاً فشيئاً إلى ذرات متباعدة ، بفضل عملية انتشار شبيهة بالانتشار الحاصل في الجوامد من جراء هذه التموجات المطاطية التي تصلح لوصف الاضطراب الحراري الذي يحدث في الجامد . وهذا ما يسمى « بموجة الدوامة » ، وهي مفهوم أساسي بفضله أمكن تفسير سلوك المواد المغناطيسية في درجة حرارة منخفضة. وكما أنّ تكميم موجات الاضطراب الحراري قد ولّد مفهوم الفوتون ، أدت موجات الدوامات إلى ادخال شبه جزيئات جديدة هي الماغنون ، المتميزة بطاقتها وباندفاعها . وقد ثبتت الحقيقة الفيزيائية لمفهوم الماغنون تجريبياً اذا أمكن من عهد قريب وصد الصدمة غير المطاطية بين الماغنون والنيوترون .

الجوانب عند بلوخ . المغنطة التقنية ـ والاكتشاف الثاني الذي حققه فليكس بلوخ سنة 1932 ، هو سابق اكتشاف موجات الدوامات ، ويتعلق بمجالات ويس ، كما انه أتاح تفسير استقرارية هذه الموجات . وقد أدخلت هذه المجالات بشكل عشوائي تقريباً من أجل التوفيق بين وجود المغنطة المفاجئة وبين انعدام المغنطة الشاملة في حقل عدم . بين ف . بلوخ ـ وهو يحاول درس كيفية تواجد مجالين متجاورين ـ ان منطقة مضطربة تفصل بينهما ، وفي هذه المنطقة ترسم العزوم لولياً يوصل بين المنطقتين . هذه المنطقة تسمى حاجز بلوخ ، وسماكتها تبلغ حوالي مئة من المسافات بين الذرات ، وبها تتعلق طاقة تتعلق أيضاً بطاقة التبادل وبتباين الخاصية المغناطيسية . وسوف تكون مذكرة ف . بلوخ ، النظرية ظاهرياً ، مصدراً لعدد كبير من التطبيقات العملية : انها في الواقع مفتاح المغنطة التقنية .

وحتى تلك الحقبة في الواقع ، وبشكل مثير للاستغراب لم تكن الظاهرات المغناطيسية الأكثر شيوعاً ، الظاهرات التي وصفت في الكتب الأولية أمثال التخلفية المغناطيسية أو وجود مغناطيسات دائمة ، قد فسرت في نظرية مغناطيسية يمكن أن تعتبر دقيقة لحدّ ما . وبالفعل إنّه بفضل تنقّل هذه الحواجز والأغشية البلوخية ، والتي تثبت في مواقع وأوضاع تكون فيها الطاقة في أدنى مستواها ، يمكن تحليل مغنطة حديد ممغنط في الحقول المغناطيسية الاعتيادية . وتم السير بهذا التحليل بعيداً على يد ريشار بيكر Becker بين سنة 1930 و 1940 وأبرز كتاب وضعه ر . بيكر ودورنغ Doring باسم الحديد الممغنط ، سنة 1939 معارفنا في هذا المجال عشية الحرب العالمية الثانية . وما يزال الكتاب مرجعاً بهذا الشأن رغم ان الأعمال الأكثر جدة التي قام بها لويس نيل

Néel وشارل كتيل Kittel بشكل خاص قد غيرت تماماً حول بعض النقاط أفكار بيكر . ويمكن ان نقول بالوقت الحاضر في مجال المغنطة التقنية ان مجمل مجموع الظاهرات قد فُسّرت كما أنه يصعب بصورة عامة في كل حالة ان نصف بالتفصيل منحنيات المغنطة وتأثير مختلف المعايير الثابتة التي يمكن ان تغير في هذه المنحنيات (مثل التوتر الميكانيكي ومثل قلة النقاوة) : وتتأتى هذه الصعوبة من تعقيد الظاهرات التي تجرنا إلى استعمال نماذج مبسطة ، أكثر مما تتأتى من جهلنا للأوالية الميكروسكوبية . هذا الفهم الأفضل للمغنطة التقنية أتاح تحسيناً ضخماً في انجازات المعدات المغناطيسية المستعملة في الصناعة سواء كانت مواد ذات نفاذية عالية أو مواد ذات حقل ضاغط بشدة وذات مغنطة عالية تمكن من صنع مغانط دائمة . وفي هذا المجال الأخير تحقق تقدم كبير باستخدام المسحوق المؤلّف من حبيبات ناعمة جداً بحيث يشكل كل منها حقلاً وحيداً . والحبيبات المتباينة الخواص بشدة والتي درست من قبل شارل غييوه Guillaud هي ذات حقل ضاغط ضخم اذ يتوجب التغلب على التباين في خواصها حتى يمكن قلب المغنطة نظراً لان تغير مكان الحواجز لم يعد ممكناً . نذكر هذه الحالة على سبيل المثال لنبين التحسين في التقنية بفضل تقدم العلم المحض .

نقيض المغناطيسية الحديدية ـ أدت نظرية هيسنبرغ إلى الحقل الجزيئي المحلي ، وهو مفهوم مثمر بشكل خاص أوصل إلى اكتشاف أنواع مغناطيسية جديدة . في نظرية المغناطيسية الحديدية التي وضعها ويس ، كان هذا الحقل الجزيئي إيجابياً ، أي موازياً لحصيلة العزوم المغناطيسية في الذرات المجاورة ، وهذا كان أمراً طبيعياً طالما كان هناك تفكير بالتفاعلات المغناطيسية . ولان هذه التفاعلات متأتية من طاقة التبادل فلا يوجد سبب لكي تكون إيجابية .

وقد قام ل . نيل سنة 1932 بدرس حالة الحقل الجزيئي السلبي ، بصورة مسبقة ثم تبعه بصورة مستقلة ل . د . لاندو Landau سنة 1933 ، وهذا أدى إلى نظرية المغناطيسية الحديدية المناقضة .

إن المغناطيسية الحديدية المناقضة هي ، كما المغناطيسية الحديدية ، ذات درجة حرارة مميزة تحتها تظهر حالة منتظمة من العزوم المغناطيسية . في الحديد الممغنط تكون كل العزوم متوازية وفي نقيض الحديد الممغنط ، يكون الأمر بالعكس فينتظم نصف العزوم باتجاه وينتظم النصف الآخر باتجاه معاكس بحيث تنعدم حصيلة المغنطة . إلاّ ان درجة الحرارة المميزة موسومة بخروقات للسمات الفيزيائية ، شبيهة بالمخروقات التي تتواجد في جوار نقطة كوري : خروقات الحرارة النوعية والتمدد ، وذروة التأثرية .

رغم ان نظرية نيل تفسر كل خصائص نقيض الحديد الممغنط فلا يمكن اعتبارها الا كنموذج مرضٍ . ولكن قدم برهان مباشر على ترتيب العزوم المغناطيسية عن طريق انحراف النيوترونات الحرارية .

هذه الجزئيات بعزم مغناطيسي والتي عليها قد تؤثر العزوم الذرية المغناطيسية ، المزوّدة بطول موجة من ذات العيار في الضخامة (واحد Å (انغشتروم) تقريباً) ، كالمسافات بين

الذرات ، هذه الجزئيات تستعمل من أجل تحديد البنيات المغناطيسية كما تستعمل أشعة اكس من أجل تحديد البنيات الذرية . وجرت أول تجربة من أجل تفريق النيوترونات وطبقت على مضاد الحديد الممغنط سنة 1951 من قبل شول Shull ووالان Wallan في اوكريدج ، حول أوكسيد المنغانير $M_n O$. واعتبر ظهور خطوط فوق بنيوية متوقعة ، البرهان الناصع على صحة نظرية نيل . واعتبر هذا أيضاً الدليل على الأهمية التي يمكن أن ترتديها التقنية الجديدة في دراسة المغناطيسية .

المغناطيسية الحديدية ـ ان مفهوم الحقل الجزيئي السلبي سوف يتيح التفسير الكمي لخصائص فئة جديدة من المواد المغناطيسية هي فئة الحديد الممغنط . ويأتي اسم هذه الفئة من الحديديات ، ومن الأوكسيدات المختلطة ذات الرمز Fe_2O_3, MO (وفيها تمثل M معدناً ثنائي القدرة) وذات الخصائص التي شرحها نيل .

ان الحديد الممغنط هو كنقيضه مادة تتجه فيها العزوم المغناطيسية باتجاهين متعاكسين . وعندها ، أي في نقيض المغناطيسية الحديدية ، في حين تكون هذه العزوم متساوية ، وبذات العدد بحيث تكون المغنطة الشاملة ملغاةً ، يختلف الأمر في حالة الحديد الممغنط الذي يمكن أن يقدم مغنطةً مفاجئة عندما تهبط درجة الحرارة أدنى من حدٍ معين .

ان فكرة التزاوج السلبي الذي يخلق مغنطة دائمة ، وجدت سابقاً في أطروحة غييوه Guillaud السابقة على عمل ل . نيل ، ولكن هذا الأخير عرف كيف يضع نظرية كمية توضح سلوك الحديد المغناطيسي ، آخذاً بعين الاعتبار ، وبآن واحد من الحديد الممغنط ومن نقيضه .

هذا الفهم الأفضل للظاهرات تسبب بتقدم كبير في تقنية الحديديات ، وعلى العموم في المعدات المغناطيسية العازلة المستعملة مثلاً في مجال التواتر الاشعاعي . ولكن هذا المظهر العملي يجب ألاّ يخفي الأهمية النظرية الأساسية لهذه الدراسات التي ارتبط بها اسم سنويك Snoek وغورتر Gorter بصورة خاصة .

في مجال المغناطيسية الحديدية ، وخاصة في مجال دراسة الحديديات (ferrites) أدى تشتت النيوترونات الخدمات الكبرى ، حين أتاح التثبت من صحة البنيات المقترحة . ولكن ، منذ سنوات ، لم يعد التشتت يكتفي بهذا الدور الرقابي : اذ بفضل هذه الطريقة ، تم اكتشاف بنيات مغناطيسية جديدة ، أكثر فأكثر تعقيداً . وتشكل دراسة هذه البنيات ، واستقرارها النسبي أحد الفروع الأكثر جدة في مجال المغناطيسية ، التي ما تزال في أوج تطورها ، وعليها تتركز كل التقنيات الحديثة في المغناطيسية ، انحراف النيوترونات ، الرجع المغناطيسي ،مفعول موسبور Mossbauer ، الحقول ذات الزخم ؛ لان القياسات الكلاسيكية حول القابلية أو التمغنط المفاجىء تعتبر غير كافية لوحدها لتحل بدون إشكال المسائل المعقدة المطروحة .

الاسترخاء المتوازي المغناطيسية ـ ان أحد أحدث الفصول في المغناطيسية المتطورة فقط في العقود الأخيرة ، هو استعمال تقنيات التواتر الاشعاعي في دراسة المغناطيسية . ان أول

تجربة في هذا المجال تعود إلى سنة 1913 ، مع اكتشاف ف . ك . اركاديف V. K. Arkadiev للامتصاص الانتقائي للموجات الكهربائية المبثوثة ذات التواتر المحدد في الاجسام الحديدية المغناطيسية . ان هذه التجربة كانت بدون غد ، ولكنها أتاحت لدورفمان Dorfman (1923) ، ثم للاندو Landau وليفشتيز Lifshitz (1935) ان يحدّدوا بالنظرية شروط الترديد أو الرجع للعزوم المغناطيسية ضمن حديد ممغنط . ولم تتحقق تجارب الرجع بالذات الا بعد ثلاثين سنة ، عندما حدث تقدم في تقنية التواتر الاشعاعي . ولكنها سبقت باكتشاف الاسترخاء اللامغناطيسي من قبل ش . ج . غورتر C. J. Gorter سنة 1936 الذي قام بشرح تجاربه كل من هـ . ب . وج كازيمير Casimir وف . ك . دوبري du Pré سنة 1938 .

لنأخذ جملة من العزوم المغناطيسية . انها في حالة توازن حراري حركي فيما بينها ومع الذرات الأخرى . وان نحن عدلنا شروط هذا التوازن ، فإن نظامنا سوف يتطور نحو حالة جديدة من التوازن ، مع بعض التأخير . الواقع ان هناك تدخلاً من ثابتتين زمنيتين ، الأولى تتعلق بوقف استقرار التوازن الحراري الحركي داخل نظام الدوامات (زمن الاسترخاء بين دوامة ودوامة) ، والثانية ، زمن استقرار التوازن الحراري الحركي بين نظام الدوامات وذبذبات الشبكة (زمن الاسترخاء بين الدوامة والشبكة) . والثانية هي أكبر بكثير من الأولى ، فمن الممكن الكلام عن درجة « حرارة في الدوامة » قد تكون مختلفة عن درجة حرارة الشبكة . وينتج عن هذا التأخير في استقرار التوازن اظهار ـ في القياسات الجارية ضمن التواتر العالي ـ مكوِّنة المغنطة التربيعية مع الحقل . ومن قياس القابلية المعقدة (التي تترجم شكلياً وجود مكونة تربيعية) ، يمكن ، ضمن بعض الفرضيات (خاصة في حالة وجود درجة حرارة للدوامة) تحديد أزمنة الاسترخاء ، ثم بالتالي تعميق عملية التزاوج بين العزوم المغناطيسية والشبكة (غورتر Gorter ، فان فلك Van Vleck) .

الترديد أو الرجع الكهربائي ـ في سنة 1944 اكتشف زافويسكي Zavoiski في كازان الرجع المغناطيسي المتوازي الالكتروني .

وجاء هذا الاكتشاف متأخراً ، بعد عدد من التجارب غير المثمرة ، يرد فشلها إلى المبالغة في الحرص والحذر ، اما من أجل زيادة الإشارة ، باستعمال جوامد تحتوي على كثير من المراكز المغناطيسية السكونية ، الأمر الذي عرّض خط الرجع كثيراً لدرجة أصبح معها غير قابل للرصد والمراقبة ، واما بالعمل على بلورات خاصة جداً فيها تطور أزمنة الاسترخاء ، مما حطم إشارة الرجع . الواقع ان الرجع الالكتروني قد استفاد من المعلومات حول الرجع النووي المكتسب بعد عدة أشهر ؛ وأصبح الرجع الالكتروني ، وبخاصة بفضل أعمال المجموعات السوفياتية (التشولر Altschuler وزافويسكي ، الخ .) والبريطانية (بليني Bleany ، وبرايس Pryce) ، الوسيلة لدراسة دقيقة جداً للمغناطيسية السكونية . وبصورة خاصة أتاحت دقة الطريقة دراسة جوامد تحتوي على عدد صغير جداً من حاملات العزوم المغناطيسية ، مثل أجسام تحتوي على جذور حرة أو على عيوب محدثة بفعل التشعيع . وهنا يوجد سبيل جديد لم تستطع المغناطيسية الكلاسيكية ان تسلكه لفقرها إلى الحساسية . وهناك مجلوب آخر قدمه الرجع المغناطيسي السكوني وهو اكتشاف بنروز Penrose وبليني Bleany تجريبياً (1949) للبنية المتناهية الدقة أي تأثير التزاوج بين العزم

المغناطيسي الالكتروني والعزم المغناطيسي النووي ، وهو تزاوج قدم تفسيره النظري ابراغام Abragam وبرايس سنة 1951 .

وحوالي سنة 1946 اكتشف غريفيث Griffiths الرجع المغناطيسي الحديدي الذي سبق إليه من قبل ثلاثين سنة اركاديف . وتفسيره ، الصعب من جراء وجود حقل نازع للمغناطيسية يتعلق بشكل العيّنة المستعملة ، قد قدم بعد ذلك بقليل من قبل ش . كتيل .

المغناطيسية النووية ـ ومثل ذلك بخلال الثلاثين سنة الأخيرة ، تطور المغناطيسية النووية . فقد ولدت هذه المغناطيسية من المطيافية الإبصارية ، ومن الدقة المتناهية في القياسات المطيافية التي أتاحت اكتشاف الطاقة الضئيلة جداً المتفاعلة مع العزوم المغناطيسية الالكترونية والعزوم المغناطيسية في النوى . ودلت القياسات التداخلية ان الكثير من الخطوط الطيفية هي ذات بنية متناهية الدقة ، وكل خط متكون من عدة مركبات الفاصل بينها ضئيل جداً . منذ 1924 عزا و . بولي هذه البنية إلى عزم مغناطيسي نووي ، باعتبار ان طاقة الذرة تتعلق بالتوجه المتبادل بين هذا العزم النووي والعزم الذري . وهذه الفكرة اتخذت كأساس في مذكرة نظرية أساسية وضعها فرمي Fermi سنة 1930 وفيها حسب التفاعل المغناطيسي بين الالكترون والنواة . ولكي يتمّ الانسجام مع النتائج التجريبية كان لا بد من افتراض العزم المغناطيسي النووي صغيراً جداً ، الأمر الذي أدهش كثيراً علماء الفيزياء في تلك الحقبة .

وكما كتب فرمي بنفسه حول هذا الموضوع في تقريره أمام مؤتمر سولفي الذي انعقد سنة 1930 وفيه يقول : « إذا طبّقنا على النواة الافكار العادية المطبقة على تركيب الاسهم المغناطيسية ، نصل إلى الاعتقاد ، على الأقل ان عزمها المغناطيسي يجب ان يكون بضخامة مغنطون بوهر . ولكن هذه النبوءة قد كذبتها التجربة تماماً . . . ونستنتج من ذلك ان العزم المغناطيسي في النواة يجب أن يكون من مستوى جزء من الف جزء من مغنطون بوهر » .

ان مثل هذا الاستنتاج صعب على الفهم ان افترضنا كما هو حاصل في تلك الحقبة ، ان النواة تحتوي على بروتونات ، وعلى الكترونات . ولكنه يصبح أكيداً ، كما فعل هيسنبرغ سنة 1934 ، اذا اعتبرنا النواة مكونة من بروتونات (أويّلات) ومن نيوترونات (أو نترونات) . فالبروتون ينسجم مع معادلات ديراك ، وعزمه المغناطيسي الخاص ـ الذي يُعتبر وجوده نتيجة لهذه المعادلات ـ يجب أن يكون تقريباً أصغر بألفي مرة من العزم المغناطيسي في الالكترون .

واطلق اسم « مغنطون نووي » على القيمة النظرية التي تعطيها صيغة مماثلة تقريباً لصيغة « مغنطون بوهر » باعتبار كتلة البروتون تحل فيها محل كتلة الالكترون .

ومن المدهش ان هذا البرهان لم يطور من أجل القبول ببنية النواة التي اقترحها هيسنبرغ . ولكن تفسير القياسات البصرية لا يمكن أن يعطي قيماً دقيقة عن العزوم المغناطيسية النووية . وقدم رابي Rabi ومعاونوه ابتداءً من سنة 1934 هذه التحديدات الدقيقة بفضل طرق النافورات الذرية التي كان منطلقها تجربة سترن وجيرلاخ . وبفضل التحسينات المتتالية توصل ج . ج . رابي إلى تجربة الرجع المغناطيسي للنوافير الذرية سنة 1939 .

هذه التجربة التي نال عليها صاحبها جائزة نوبل هي من أجمل التجارب ، بسبب المصاعب التي يتوجب التغلب عليها ، وهي مصاعب من الأكثر أهمية أيضاً ، لأن التجربة ارتكزت على مبدأ الرجع النووي بالذات . فالعزم المغناطيسي يُقاس فعلاً بواسطة تواتر لارمور Larmor في حقل متناسق ، ولم يستخدم جهاز الانحراف الذي وضعه سترن وجيرلاخ الا لالتقاط الرجع الذي يحدث عندما يتساوى تواتر حقل التواترات المشعة الذي يحيط بالنوى بهذا التواتر المسمى تواتر لارمور .

وأتاحت هذه الطريقة الدقيقة جداً لرابي ولمعاونيه ان يقيسوا عدداً كبيراً من العزوم المغناطيسية النووية ، التي لم تكن ـ حتى بالنسبة إلى البروتون ـ مضاعفات صحيحة لمغنطون نووي . وبصورة خاصة ، وبعد الاستعانة بطريقة رابي استطاع الفاريز Alvarez وبلوخ ان يقيسا منذ 1940 العزم المغناطيسي في النيوترون ، والذي يساوي $1,91290 \pm 9 \cdot 10^{-5}$ مغنطون نووي . وهذه النتيجة الأخيرة تعتبر مهمة بشكل خاص لأنها تتعارض مع التصوّر الساذج للجزيئات النووية والذي يرى ان العزم المغناطيسي يقترن بوجود شحنة كهربائية .

ولجعل طريقة الرجع اسهل استعمالاً ، لم يكن من المتوجب الا استبدال أسلوب الكشف أو الالتقاط الصعب جداً والذي وضعه رابي ، بأسلوب للكشف مباشر . وهذا ما حدث بعد عدة سنوات . في سنة 1946 أثبت كل من فيليكس بلوخ في جامعة ستانفورد في كاليفورنيا وآ . م . بورسل Purcell ور . ف . بوند Pound في جامعة هارفرد ، الرجع المغناطيسي للنوى عن طريق الرصد المباشر للقوة الكهربائية المحركة الصادرة عن حركة العزوم المغناطيسية في النوى .

ومنذ ظهور أول مذكرة له عرف فليكس بلوخ كيف يدخل ، في معادلات ظاهراتية ، الكميات المهمة من أجل تفسير الرجع النووي : أزمنة الاسترخاء ، دوامة مع دوامة ودوامة مع شبكة والتي تكلمنا عنها في موضوع الرجع المتوازي المغناطيسي الالكتروني . ولكن الآن أصبحت الدوامات نووية ؛ ونلاحظ ذلك في مادة متعاكسة المغناطيسية ؛ وينتج عن ذلك أزمنة استرخاء تختلف مقاديرها تماماً عن مقادير الرجع المغناطيسي الالكتروني الساكن . وكذلك حال تواترات الرجع ، في الحقول المعتادة ، هي ألف مرة أصغر بسبب صغر العزوم المغناطيسية النووية ، وينتج عن ذلك تبسيط ضخم في التجهيزات التي تستخدم التواتر الاشعاعي العادي (بعض عشرات الميغاسيكل) .

هذا الرجع النووي وبخاصة رجع الفوتون ، سرعان ما استعمل من أجل قياس التفاعلات المتبادلة بين العزوم المغناطيسية النووية في جزيءاذي مغناطيسية ساكنة . وينتج عن ذلك تطبيق فيزيكميائي مباشر أدى إلى اعتماد طريقة الرجع في مختبرات الكيمياء ، وعلى عدد كبير من الأعداد الضخمة ، إذ توجد الآن أكثر من الفي نشرة مخصصة لهذه الأعمال .

ولم يقتصر درس الخصائص المغناطيسية في النوى على الفيزياء النووية بل أيضاً شمل الفيزياء الكلاسيكية وكشف لنا أضواءً جديدة عن هذه الخصائص .

وبالفعل لا يستطيع العزم المغناطيسي المرتبط بدوامة نواة ان يتخذ بالنسبة إلى حقل

مغناطيسي الا عدداً صغيراً من الاتجاهات أو الحالات الطاقوية المتميزة . ومن جراء هذا الواقع يشكل نظام بسيط جداً ،ومجموعة العزوم المتفاعلة في جسم ما، احد هذه المجملات التي يعتبرها علم الحرارة المتحركة الاحصائية ، مجملاً مقتصراً على الأساسي والذي يتزاوج بضعف شديد مع الوسط المحيط به من خلال لحظة استرخاء طويلة جدّاً . ويمكن بسهولة تحديد ورصد درجة حرارة دوامة تختلف عن درجة حرارة الشبكة وأكثر من ذلك نستطيع بفعل حقل تواتري اشعاعي تزويد مستويات الطاقة العليا بصورة أفضل ، خلافاً لقانون بولتزمان ، أو بصورة أولى وفقاً لقانون بولتزمان مع درجة حرارة مطلقة سلبية . ومن بين الاعمال حول هذا الموضوع يجب أن نذكر بشكل خاص أعمال آ . ابراغام الذي توصل ، مع غيره ، إلى اعداد وتحضير عينات عن أجسام مشبعة بالهيدروجين بشكل مكثف أي تتكون فيها كمية مهمة من البروتونات ذات الدوامات المتوازية .

وكما هو الحال في الماضي كشف لنا حقل المغناطيس وجود حقل قوة ما يزال مجهولاً حتى وقتنا الحاضر . ان دراسة الخصائص المغناطيسية للمادة ، وان بدت متخصصة ظاهرياً ، تفتح لنا في كل الاتجاهات آفاقاً جديدة في علم الابصار وفي الكيمياء وفي الحرارة المتحركة وفي الفيزياء النووية . نذكر من وجهة النظر هذه ان العزم المغناطيسي غير العادي في البروتون وبصورة خاصة عزم النيوترون كانا من الناحية التاريخية من المؤشرات الأولى الدالة على بنية معقدة في النويّات (النكليونات) .

الفصل التاسع

الكهرباء ، الالكترونيك والكهرباء الاشعاعية

في سنة 1900 تم اكتشاف الالكترون ، ضمن الضمة الكاتودية داخل انبوب فارغ . وكان الكثيرون يشككون يومئذ بوجوده . سمة واحدة من سماته كانت تقريباً معروفة ، هي e/m أي النسبة بين شحنته وكتلته . وبعد خمسين سنة ولد علم جديد هو علم الالكترونات ، كما نشأت طبقة من المهندسين الجدد هم مهندسو الالكترونات .

في سنة 1900 بدأ علماء أمثال درود Drude وج . ج . تومسون Thomson ـ على آثار لورنتز Lorentz ـ ، يتخيلون أن التيار الكهربائي في المعادن هو محمول بالكترونات سلبية حرة . وكانت بدايات النظرية الالكترونية للمعادن . واليوم وبفضل الميكانيك الكانتي ، زالت الصعوبات الرئيسية التي اصطدم بها هؤلاء الرواد . واتسعت النظرية فشملت الموصلات النصفية وحتى الاجسام العازلة . ويجري البحث بطمأنينة حول حركة الاكترونات ، « أو ثقوب الايجابية » ويتم التنبّؤ بسلوكها ثم تصنع المقومات ، و« الترانزستور » والعديد من التطبيقات العملية . سنة 1901 اجتازت الإشارات الكهربائية الاشعاعية المحيط الأطلسي . وبخلال عدة عقود أصبحت الكهرباء الاشعاعية بفضل الالكترونيك ، احدى الصناعات الأكثر أهمية في العالم كما أصبحت بذات الوقت وسيلة جديدة لاكتشاف الكون .

بخلال هذه الحقبة الخصبة بقيت أسس الكهرباء المغناطيسية ، والنظرية الكلاسيكية الذي وصفها مكسويل Maxwell ولورنتز راسخة ، قلما زعزعتها نظرية الكنتا ، على الأقل من وجهة النظر التجسيمية (ماكرو سكوبيك) ولكن معرفتنا بالمادة ، وبالجزئيات الكهربائية التي تشكل هذه المادة قد تعمّقت وتوضحت بشكل يمكن تصوره ، في مطلع القرن العشرين ، وبذات الوقت تطورت تقنياتنا بشجاعة بالتصور وبقوة في الوسائل التي قد تبدو أسطورية في ذلك الزمن .

I ـ اكتشاف الالكترون

عندما أطلق ج . جونستون ستوني Johnstone Stoney سنة 1891 كلمة الكترون على الوحدة الطبيعية للشحنة الكهربائية ، هذه الشحنة التي يحملها ايون وحيد الصلاحية ، في التحليل

الكهربائي (الكترولين) ، لم يكن أحد يتوقع بدقة وجود جزئية ذات كتلة أضعف بكثير من كتلة الايونات التي نطلق عليها اليوم اسم الكترون . هذا مع أن هلمولتز Helmholtz كان قد استنتج ، قبل ذلك بعشر سنوات « إن الكهرباء الايجابية والسلبية تقسم إلى جزئيات أولية محددة تتصرف كتصرف الذرات الكهربائية » . وبعد التجارب التي اجراها بنجمين فرنكلين Franklin سنة 1747 ، كتب يقول « إن المادّة الكهربائية تتألف من جزئيات دقيقة للغاية ، لأنها تستطيع اختراق المادة المعروفة بل أيضاً المعادن الأكثر كثافة» . وسوف يتثبت رأي هؤلاء الطليعيين في العقد الأخير من القرن التاسع عشر ، خاصة بعد دراسة الاشعة الكاتودية .

تحديد هوية الالكترون كجزئية أوّلية ـ قامت مدرستان تقترحان تأويلات مختلفة لطبيعة هذه الاشعة التي يعود اكتشافها إلى منتصف القرن التاسع عشر . ففي حين استنتج هرتز Hertz وتلميذه لينار Lenard « أنه بين الظاهرات المعروفة يبدو الضوء هو الأقرب إلى هذه الاشعة » ، فقد اعطاها ج . ج . تومسون طبيعة جسيمية . وليثبت نظريته تذرع لينار بمرور الاشعة الكاتودية عبر غشاء رقيق من الألومينيوم . ولكن هذا البرهان ربما بدا له أقل حسماً لو أنه اخذ بملاحظة فرنكلين حول تناهي دقّة هذه الجزئيات التي تكوّن المادة الكهربائية .

في كانون الأول سنة 1895 ، نشرح . برين Perrin نتائج تجربة كرست فوز النظرية الجسيمية على الاقل لمدة ثلاثين سنة . فقد لاحظ أن اسطوانة فارادي ، وضعت داخل انبوب تفريغي ، فامتلأت أو شحنت سلبياً تحت تأثير الاشعة الكاتودية . ودلت تجربته أن هذه الاشعة تتكون من جزئيات مشحونة سلبياً . ورغم أنّ هذه التجربة لم تكن كافية لتوضيح طبيعة هذه الجزئيات ، إلا أنّها شكلت أول برهان مباشر على وجود الالكترون .

في هذه الاثناء تم الحصول على أول تقييم لكتلتها بواسطة طريقة أخرى . فمنذ عدة سنوات كان هـ . آ . لورنتز قد بنى نظرية حول العازلات الكهربائية وحول وجود جزئية مادّية ذات شحنة وذات كتلة محددتين ، رغم عجزه عن تحديدهما يومئذٍ ، وعزا إلى هذه الجزئية تشتت وحدوث الضوء من المادة . واتاح اكتشاف ب . زيمن Zeeman سنة 1896 ، لتفكيك الخطوط الطيفية بواسطة حقل مغناطيسي أن يحسب كتلة هذه الجزئية : ومنذ نهاية 1896 وضع نظرية « مفعول زيمان » واستنتج قيماً تجريبية حاصلة نتيجة تباعد الخطوط ، وإن هذه الكتلة تساوي تقريباً كتلة تقلّ مئتي مرة عن كتلة ذرّة الهيدروجين . ولم تصبح هوية هذه الجزئية والجزئية التي اكتشفت داخل الاشعة الكاتودية ، ثابتة إلا عندما عرفت كتلة هذه الاخيرة .

في سنة 1897 نشرج . ج . طومسون النتائج الأولى للقياسات التي قام بها من أجل الحصول على كتلة الأشعة الكاتودية . ومنذ 1881 افترض الأشعة الكاتودية تتكون من جسيمات ، فوضع أسس حركيتها ، وجاء بعده فيتزجيرالد Fitzgerald وهيفسايد Heaviside يوضحانها .

إن الإعمال المستقل لحقل كهربائي ولحقل مغناطيسي عرضانيين من أجل تحريف الاشعة الكاتودية عن مدارها المستقيم مكن طومسون من الحصول على معادلتين تتضمنان سرعة الجزئيات v والنسبة e/m بين شحنتها وكتلتها ، وقد جرت محاولات حول العديد من تركيبات الانحرافين

الكهربائي والمغناطيسي، واستبدل الانحراف المغناطيسي ، في بعض التجارب ، بقياس للطاقة الحركية في الالكترونات التي تسقط من أجل هذا فوق مزدوجة حرارية . وعثر طومسون على سرعة من مستوى العشر من سرعة الضوء وعلى نسبة e/m مستقلة في الغازالذي فيه يتم التفريغ ، وعلى طبيعة الكاتود : وتأيدت هذه النتيجة الأخيرة من قبل هـ . آ ويلسون سنة 1901 .

وكانت القيمة التي عثر عليها سنة 1897 بالنسبة إلى e/m أعلى بـ 770 مرة من الكمية المقابلة من الايونات الهيدروجينية في التحليل الكهربائي . وبافتراض أن الشحنة e كانت شحنة الايونات الوحيدة الصلاحية في التحليل ، أي الوحدة الطبيعية المسماة « الكترون » من قبل ستوني ، بفضل هذا توصل طومسون إلى اعطاء الالكترون كتلةً أقل من كتلة الايونات . وبعد توضيح قيمة النسبة e/m في جزئيات الاشعة الكاتودية بفضل قياسات كوفمان Kaufmann (1897 -1898) وون Wien وسيمون Simon وويشرت Wiechert (1899) وطومسون بالذات بدت القيمة المعتمدة بالنسبة إلى كتلة الالكترون أقل من كتلة ايون الهيدروجين بـ 1836 مرة .

وبين سنة 1897 و 1900 أتاحت قياسات النسبة e/m التعرف على هوية الالكترون في العديد من الظاهرات . وبعد أن ارتد لينار Lenard إلى النظرية الجسيمية سنة 1898 قاس هذه النسبة بالنسبة إلى الأشعة الكاتودية التي اخترقت حاجزاً معدنياً رقيقاً (أشعة لينار) . وأجرى طومسون نفس القياس فيما خص الالكترونات الصادرة عن المعادن المتوهجة (المفعول الحراري الايوني) ؛ وأجرى طومسون ولينار القياس في الالكترونات الصادرة عن المعادن تحت مفعول الضوء فوق البنفسجي أي المفعول التصويري الكهربائي وأخيراً وبفضل قياس النسبة e/m بين بكريل Becquerel أن أشعة β التي يبثها الراديوم ، وهي الاشعة التي كانت تسمى يومئذ اشعة بكريل ، تتكون من الكترونات مزودة بسرعة عظيمة .

قياس شحنة الالكترون ـ من أجل التثبت من الفرضية التي قدمها ، قام ج . ج . طومسون بقياس مباشر ، سنة 1898 و 1899 ، لشحنة الالكترونات المحدثة في الغازات بفضل اشعة أكس وبالمفعول الكهرضوئي مرتكزاً على سمة تستعمل اليوم في الفيزياء النووية من أجل استكشاف الجزئيات « في غرفة ويلسون » . وفي مختبر كافنديش في كامبريدج (بريطانيا) حيث اشتغل طومسون وك . ت . ر . ويلسون Wilson وج . س . تاونسند Townsend تم اكتشاف أن جزئيات مكهربة تشكل مراكز تكثف بخار الماء إذا اخضع لصعقةٍ مفاجئة عندما تكون النسبة بين الحجم النهائي والحجم الأساسي متراوحة بين حدّين معيّنين . وأتاحت دراسة حركة حبيبات الماء المتكونة على هذا الشكل تحديد الشحنة المحمولة من قبل الجزئيات المكهربة .

يذكر أيضاً أن الشحنة في الالكترون تتدخل في نظرية اشعاع بلانك Planck ورغم عدم وضوح قياسات الاشعاع في هذه الحقبة ، استطاع بلانك أن يستنتج ، سنة 1900 ، قيمة دقيقة بشكل مدهش لشحنة الالكترون . في هذه الاثناء ، كانت أفضل طريقة تقوم على رصد حركة حبيبة زيت تحمل عدداً صغيراً من الشحنات الاولية ، وتخضع للجاذبية الارضية داخل حقل كهربائي عامودي كما تخضع لقوى لزوجة الهواء الذي تتحرك في داخله وهذه الطريقة ، التي أشير

إليها سنة 1907 ، من قبل اهرنهافت Ehrenhaft استعملت سنة 1913 من قبل ر . آ . ميليكان Millikan واستعيدت بشكل محسن سنة 1940 .

وتتم التجربة بين صفحتين معدنيتين افقيتين تشكلان درعي مكثف . ولحظ فيها بواسطة الميكروسكوب ، حركة حبيبة زيت منورة بقوة ، وكان قطرها يقارب الميكرون . وبغياب أي حقل كهربائي قاومت قوة اللزوجة في الغاز ، المتناسبة مع سرعة الحبيبة ، التسارع المعزو إلى الجاذبية الارضية ، وفرضت سرعة قصوى . إن معامل النسبة بين قوة اللزوجة وبين السرعة نحصل عليه بمعادلة بسيطة وضعها ستوكس Stokes وهي : $f = 6\pi\eta a$ وفيها يساوي a شعاع الحبيبة وη معامل لزوجة الغاز .

وعندما يكون η معروفاً يتيح هذا القسم الأول من التجربة تحديد شعاع النقطة وبالتالي كتلتها بعد معرفة الثقل النوعي للزيت . وفيما بعد نطبق الحقل الكهربائي ونلاحظ أن السرعة القصوى للنقطة تتغير دائماً بقفزات : وهذه التغيرات هي مضاعفات كاملة وبسيطة لقيمة محددة تماماً تناسب الحقل الكهربائي . ويفسر هذا الحدث ببساطة إذا افترضنا أن الحبيبة تتكهرب بفعل الاحتكاك بالهواء فتأخذ عدداً صغيراً من الشحنات الأولية . ونستنتج من ذلك عندئذ شحنة الالكترون . إن الامر يتعلق بقياس دقيق جداً ، وبعد نتيجة أولى مشكوك بها اضطر ميليكان أن يعاود قياس معامل لزوجة الهواء .

إن قيمة شحنة الالكترون الحاصلة على هذا الشكل تعتبر كأفضل نتيجة عرفت وتتمثل بما يلي : $1,602.10^{-19}$ Coulomb (أي $1,602.10^{-19}$ كولومب) وتشكل مقارنتها بشحنة الايون غرام في التحليل أفضل تحديد لعدد آڤوغادرو وهو $N = 6,023 \times 10^{23}$ وأخيراً إذا قورنت هذه القيمة بالقيم الحاصلة للنسبة e/m ($e/m = 1,759 \times 10^{11}$ كولومب / كلغ) ، فإنها تعطي لكتلة الالكترون ما يلي : $m = 9,11 \times 10^{-31}$ Kg (كلغ) وبسبب هذه النتائج التي تتوافق مع تحديدات أخرى تلعب تجربة ميليكان دوراً حاسماً في تاريخ الفيزياء الحديثة .

تأويلات كتلة الالكترون ـ بالنسبة إلى بعض المنظرين من سنة 1900 لم تنفصل القيمتان الأساسيتان اللتان تميزان الالكترون ، وهما كتلته وشحنته ، والاعمال التي تمت للربط بينهما تشكل محاولة تفسير لبنية الالكترون ، لا تخلو من فائدة تاريخية رغم قدمها .

في بداية حياته العملية سنة 1881 لاحظ ج . ج . طومسون أن الشحنة الكهربائية تمتلك الجمود ، وذلك بسبب الحقل الكهرمغناطيسي الذي تحدثه ، ونجح في حساب « الكتلة الكهرمغناطيسية » في كرة مشحونة :

فوجد إن هذه الكتلة تتغير بتغير السرعة في حين أن النظرية الكلاسيكية تعتبر الكتلة الميكانيكية ثابتة . وفي سنة 1895 ارتأى لارمور إمكانية « إن كتلة كل مادة ليست إلا الكتلة الكهرمغناطيسية للالكترونات التي تشكل قسما وربما كل بنية هذه المادة » (و . و . ريشاردسون Richardson ، نظرية الالكترون في المادة ، سنة 1914) . في كتابه « مبادىء الديناميك في

الالكترونات » الصادر سنة 1903 أوضح ماكس ابراهام حسابات ج . ج . طومسون فشبه الالكترون بكرة لا يتغير شكلها . وأدخل مفهوم « العزم الكهرمغناطيسي » المرتبط مباشرة بالسهم الموجّه الذي أدخله ج . هـ . بوينتن Poynting سنة 1884 لكي يصور انتشار الطاقة الكهرمغناطيسية وأتاح هذا المفهوم تفسير الواقعة القائلة بأن الاشعاع الساقط فوق سطح ما يحدث فيه ضغطاً : وهو مفهوم تنبأ به مكسويل سنة 1873 ، باسم « ضغط الاشعاع » ، وقد قاسه ب . ليبديف Lebedev سنة 1901 ثم أ . نيكولس Nichols وج . هول Hull سنة 1903 بدقة من عيار 1 % . ومن عبارة العزم الكهرمغناطيسي استطاع إبراهام أن يستخلص بسهولة قيمة الكتلة الكهرمغناطيسية في الالكترون وأن يبين أنها تزداد مع السرعة لتتناهى عندما تصبح سرعة الالكترون قريبة من سرعة الضوء .

كانت هذه الأعمال مزامنة للأعمال التي أدت إلى نظرية النسبية . وقد توصل لورنتز يومئذ إلى اقتراح الفرضية التي صاغها أيضاً فيتزجيرالد حول تقلص أبعاد الجسم الجامد أثناء تحرّكه . وطبقها على حركية الالكترون واستنتج منها صيغةً تتعلق بتغير كتلة الالكترون m تبعاً للسرعة v ، صيغة تختلف عن صيغة إبراهام : إنها الصيغة المعروفة تماماً ، صيغة النسبية الضيقة : $m = m_0/\sqrt{(1 - v^2/c^2)}$ وفيها تمثل c سرعة الضوء في الفراغ . منذ سنة 1901 عمل و . كوفمان على قياس النسبة e/m بالنسبة إلى الالكترونات ذات السرعات العظيمة الصادرة عن برومور الراديوم ولاحظ وجود تغير في الكتلة بتغير السرعة الكبير نوعاً ما واستنتج من ذلك أن القسم الاعظم من كتلة الالكترون هو من أصل كهرمغناطيسي . وفي سنة 1906 نشر نتيجة الأعمال المتقنة جداً ليحكم بين صيغة إبراهام وصيغة لورنتز : ومع الأخذ بالأخطاء التجريبية الممكنة ثبّتت هذه النتائج نظرية إبراهام . ويعود عنوان مقال كوفمان إلى سنة 1906 ، حول « تكوين الالكترونات » ، وهو يترجم تماماً الهدف المقصود من قبل المؤلف . وعلى أثر تجارب كوفمان ، كتب لورنتز ، في طبعة سنة 1909 من « نظرية حول الالكترونات » أنه يتوجب ربما رفض فرضية التقلص . في هذه الأثناء وفي الطبعة اللاحقة (1915) ذكر لورنتز أن التجارب الجديدة التي قام بها آ . بوشيرر Bucherer (1910) وك . شافير Schaefer وج . نيومان Neumann (1913) وأخيراً ك . ي . غوييه Guye وك . لافنشي Lavanchy قد أكدت صيغته الخاصة ، وإنه بالتالي « ووفقاً لكل احتمال يزول الاعتراض الوحيد ضد فرضية الالكترون القابل للتشويه ومبدأ النسبية » .

إن نظرية النسبية عند لورنتز تعطي للالكترون نفس الكتلة في حالة السكون المعادلة لكتلة إبراهام وصيغتها $m_0 = e^2/(4\pi Rc^2)$ (من وحدات C.G.S.E.S ؛ وe تساوي شحنة الالكترون ؛ و R تساوي شعاع الالكترون) . إن القيمة التجريبية m_0 تتيح حساب الشعاع R الذي يقرب من : $1,5.10^{-13}$ ، قيمة تصغر بمئة ألف مرة عن شعاع جزيء الهدروجين المقارب 10^{-8} سم .

نلاحظ السمة الميكانيكية لتصوراتنا هذه للإلكترون . وأتاحت الاعتبارات المتعلقة باستقرارية الالكترون القابل لتغير الشكل ، تحت تأثير القوى المغناطيسية ، توضيح الصورة التي تتكون لدينا عنه : وهكذا بين هنري بوانكاريه Poincaré سنة 1906 أن الالكترون يكون في حالة توازن إذا كان مكوناً من غشاء رقيق جداً ومتناهي المرونة وقابل للتمديد وخاضع لضغط متجه نحو الداخل .

ورفضت النظريات الحديثة وضع تصورات بهذه الدقة عن الالكترون . ولكن يجب أن نذكر أن الالكترون بدا ـ في النظريات الموضوعة سنة 1900 من أجل تفسير الخصائص الكهربائية للمادة ـ بشكل عام كنقطة مادية تتميز بشحنتها وبكتلتها . وعلى هذه الأسس استطاعت نظرية الالكترونات أن توضح أكبر عدد من الظاهرات وبدت اداة عمل فعالة .

الالكترونيك ونظرية النسبية ـ إن المسائل التي طرحتها فيزياء الالكترون والحقل الكهرمغناطيسي قد لعبت دوراً أساسياً في ولادة نظرية النسبية ونلخص بإيجاز ما قدمته هذه النظرية إلى الالكترونيك . إن نظرية لورنتز ، التي وضعت منذ سنة 1905 في إطار النسبية الضيقة التي قررها انشتين قد أتاحت التعرف على تغير كتلة الالكترون تبعاً لسرعته . وتوجب اللجوء إلى الديناميك النسبوي من أجل وصف حركة الالكترون في العديد من المعدات : كليسترونات [أنابيب فارغة لتضخيم الذبذبات الالكترونية ذات الموجة السنتيمترية] ذات قوة عالية ، ميكروسكوبات الكترونية ، وبصورة خاصة مسرعات تلامس سرعة الضوء .

إن ما قدمته النسبية يبرز أيضاً في العرض الحديث للكهرمغناطيسية ، بإظهار العلاقة بين الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي ، وكذلك مصدر قوة لا بلاس وقانون الحث .

وكون معادلات مكسويل متغيرة بالنسبة إلى التحول الكلاسيكي في الاحداثيات حمل لورنتز إلى إدخال صيغ جديدة لتغير الاحداثيات ، وهي صيغ بررتها نظرية النسبية ، ووفقاً لهذه الصيغ التغيرية إذا كان حقل كهربائي ثابت بصورة خالصة يسود ضمن نظام متحرك بالنسبة إلى راصد ثابت ، فإن هذا الأخير يكتشف أيضاً وجود حقل مغناطيسي بفضل نوع من مفعول البعد ويستنتج منها بسهولة المعادلة $\vec{F} = e(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$ تعبيراً عن القوة $\vec{F}$ التي تمارس على الكترون بسرعة $\vec{v}$ خاضع لحقل مغناطيسي $\vec{E}$ ولحث مغناطيسي $\vec{B}$. وبعكس ذلك ، إن الالكترون المتحرك يحدث حقلاً كهربائياً وحقلاً مغناطيسياً وهذا الأخير ضعيف جدّاً إلاّ عندما تقترب سرعة الالكترون من سرعة الضوء ومع ذلك فهو يتيح معرفة الحقل المغناطيسي المحدث بفعل التيارات المارة في الموصلات المعدنية . وتنتج هذه التيارات عن تنقل الالكترونات داخل ايونات جامدة عملياً . ويجمد الحقل الكهربائي الثبوتي المحدث بهذه الايونات حقل الالكترونات ، فلا يبقى إلا الحقل المغناطيسي المنبثق عن حركة الالكترونات : رغم أن سرعة هذه الالكترونات ضعيفة إلاّ أنّ عددها الكبير يفسر كيف أن الحقل المغناطيسي المحدث يكون قابلاً للقياس .

وهكذا لا تنطبق نظرية النسبية فقط على السرعات الكبرى : إنها توضح تحت ضوء قوي مجمل الظاهرات الكهرمغناطيسية فتثبت وحدتها العميقة .

II ـ النظرية الالكترونية حول المادة في بداية القرن العشرين

في بداية القرن العشرين قدم اكتشاف الالكترون قاعدة صلبة لمحاولة وضع نظرية موحدة للخصائص الكهربائية في المادة ، من مرور التيار المستمر حتى حدوث الموجات الكهرمغناطيسية ذات التواتر الأكثر ارتفاعاً .

إنتقال الكهرباء في الغازات ـ لقد تجمعت نتائج عديدة تجريبية حول مرور الكهرباء في الغازات بخلال القرن التاسع عشر ، وبصورة خاصة بخلال العقد الأخير . وكانت هذه النتائج تدور حول الغازات تحت الضغط الجوي كما تحت الضغوطات المنخفضة . وفي سنة 1903 بين ج . ج . تومسون في كتابه « إيصال الكهرباء عبر الغازات » إن الوقائع الملحوظة تفسر إن نحن افترضنا « أن انتقال الكهرباء عبر الغازات يعود إلى وجود جزئيات صغيرة من الكهرباء تسمّى ايونات» . ويذكر أنّ تومسون يرمز بهذا إلى الجزئيات الإيجابية كما إلى الجزئيات المشحونة سلبياً ، وإنه لم يستعمل كلمة الالكترونات ، ولم يظهر أمر كون الجزئيات السلبية لها كتلة أضعف بكثير من كتلة الايونات الايجابية وكتلة الذرات ، إلا على أثر القياسات للنسبة e/m والتي ذكرت بتفصيل .

ويتيح كتاب تومسون توضيح المعارف حول الغازات المؤينة حوالي سنة 1900 . وفيه محل كبير مخصص للتفريغ بين قطبين باردين ، ويكون في هذا التفريغ « تأيين يحدثه بصورة رئيسية مفعول الحقل الكهربائي » : وينطلق التفريغ وفقاً لقانون اكتشفه باشن Pashen سنة 1889 ، فيما خص فرقاً في الزخم لا يتعلق ، بالنسبة إلى غاز معين ، إلا بحصيلة ضرب الضغط بالمسافة التي تفصل بين القطبين . ووصف تومسون القوس الكهربائي الذي كان آ . بلونديل Blondel في فرنسا قد درس مختلف انظمته والذي يتميز بتيار قوي جداً ، « وبحدوث ضوء شديد وحرارة قوية تعطيه أهمية عملية كبيرة » . وأعطى المظاهر المختلفة للتفريغ في الضغط المنخفض ، كما كان فراداي قد رصدها سنة 1838 ، كما عالج توزع الحقل الكهربائي ، على طول التفريغ ، المدروس تجريبياً من قبل العديد من المؤلفين منذ هيتورف Hittorf سنة 1883 حتى هـ . آ . ولسون Wilson سنة 1900 وذكر ان ج . زيليني Zeleny وك . تشايلد Child بينا كل على حدة ، سنة 1898 ، إن الحقل الكهربائي بين صفيحتين غارقتين في غاز مؤين ليس موحد الشكل ، وهذا ما شكل أصل قانون تشايلد ـ لانغموير Langmuir حول التيار داخل الديود الحراري الايوني [الديود هو مركب الكتروني لتصحيح مسار التيار ويسمّى أيضاً بالصمام الثنائي] .

ووصف تومسون الدراسات التجريبية حول أثر العوامل المختلفة المؤينة ، وبث الالكترونات بفعل المعادن المحماة (وهو الاثر الحراري الايوني) والتأييني بواسطة الشعلات ، وبصورة خاصة أثر العوامل الثلاثة المستخدمة من قبل المجربين وهي : أشعة رونتجن Röntgen ، والضوء فوق البنفسجي ، وأشعتا α و β المنسوبتان إلى بكريل .

وتتجه الايونات المشكلة على هذا النحو لكي تندمج من جديد في معدل يتناسب مع اعداد الايونات الإيجابية والايونات السلبية أو الالكترونات ضمن وحدة الحجم . أما معامل النسبة ، المسمى معامل إعادة المزج بالحجم والمقاس من قبل روذرفورد Rotherford سنة 1897 ، فهو يتدخل في معدل التأيين (أي في النسبة المئوية للذرات المؤينة) ، عند التوازن ، بحضور عامل تأييني ، وكذلك ضمن قانون تناقص التأيين عندما يلغى هذا العامل .

وبمعزل عن إعادة الدمج حجماً تزول الايونات بفعل التحييد فوق جوانب الوعاء الذي يحتوي الغاز . وهكذا يكون تركيز الايونات أخف بقرب الجوانب . وتنتشر الايونات من منطقة

التركيز القوي نحو منطقة ضعيفة ، أما عدد الايونات التي تجتاز وحدة المساحة ضمن وحدة الزمن فيتناسب مع معدل التغيير في التركيز . إن معامل التناسب D ، ومعامل الانتشار، قد جرى قياسه بالنسبة إلى العديد من الغازات ، من قبل ج . س . تاونسند في مختبر كافنديش Cavendish .

وتحت تأثير التلاحم مع الايونات الأخرى والذرات ، تأخذ الايونات والالكترونات الخاضعة لحقل كهربائي E سرعة تعادل μ E تتناسب مع الحقل . إن الحركية μ في العديد من الغازات المختلفة ،قد جرى قياسها بشكل منهجي من قبل روذرفورد ، وبيّن طومسون أن التحرك ومعامل الانتشار مترابطان ، ووضع بينهما علاقة تساوي العلاقة الانشتينية التالية : $D/\mu = KT/e$ وهي معادلة تصلح لظاهرات الانتشار في وسط بحالة توازن حراري ديناميكي في درجة حرارة T . ونلاحظ عمومية مفهوم الحركية الذي يمكن ربطه بمفاهيم السرعة الوسطى والاجتياز الحر الوسط بين صدامين كلاسيكيين نظرياً من نظرية حركية الغازات : أما معامل الحركية فقد أدخل في نظرية التحليل بالكهرباء (المجلد الثالث) ؛ وهذا المعامل يدخل في نظرية درود Drude حول توصيلية المعادن ويلعب دوراً أساسياً في النظرية الحديثة حول أنصاف الموصلات .

في سنة 1902 نشر لانجفين ـ الذي كان قد أجرى مع ج . بررين تجارب حول التأيين بفعل أشعة X ، ثم قام بالتدرب في مختبر كافنديش ـ نشر اطروحة للدكتوراه الرائعة بعنوان « بحوث حول الغازات المؤينة » ومنها درس إعادة المزج ، والحركية في الايونات . ووفقاً لنظريته تتجاذب الايونات الإيجابية والايونات السلبية أي الالكترونات وتحدث تصادماً ، ينتج احتكاكه إعادة دمج . وهكذا وضع ترابطاً بين الحركية ومعامل إعادة الدمج . واقترنت هذه النظرية بعمل تجريبي ذي دقة علمية فائقة .

ويعطي كتاب طومسون أهمية كبيرة لوصف التجارب المتناهية الابداع والتي جرت في تلك الحقبة حول الغازات المؤينة . وأدت دراسة التفريغ في الغازات إلى تعريف العديد من المعاملات التي كان لا بد من قياسها . وبعد نصف قرن من الزمن ، وبعد نضج بطيء للأفكار ، وتحت ضغط التطبيقات العملية ظهرت نظرية ميكروسكوبية حقيقية حول الغازات المؤينة . وكان الرواد في سنة 1900 قد حلّوا شبكة معقدة من الظاهرات الجديدة .

خازنات الطاقة الكهربائية الثابتة (دي الكتريك) ـ قبل أن يظهر الالكترون بوضوح باعتباره عامل نقل الكهرباء في الغازات وباعتباره مكون الاشعة الكاتودية ، اسند إليه هـ . آ . لورنتز دوراً أساسياً في نظريته حول المادة وبصورة خاصة حول الخازنات الكهربائية .

إنّ أثر الحقل الكهربائي حول الخازنات قد درسه فراداي سنة 1837-1838 ، ويترجم بظاهرات استقطابية . وهذا المفهوم يعزى إلى فراداي ، وأوضحه و . طومسون سنة 1845 وموسوتي Mossoti سنة 1847 وهو متصل مباشرة بمفهوم الثابتة الخازنة للكهرباء . في كتابه « نظرية الالكترونات » رأى لورنتز أن الخازنات تحتوي على شحنات كهربائية تخضع لقوى استعادة : وأتاحت هذه الفرضية تفسير الاستقطابية بفعل تشكل الشحنات الكهربائية المتعاكسة تحت تأثير حقل كهربائي ثبوتي . والشحنة الخاضعة لقوة استعادة تشكل رقاصاً انسجامياً له تواتر خاص

يمكن حثه بحقل كهربائي مغناطيسي ذي تواتر مجاور . وبعد النظر إلى هذا التفاعل أمكن حساب لثابتة الخازنة للكهرباء حتى التواترات الأكثر ارتفاعاً ، ثم بفضل معادلات مكسويل ، مؤشر الانكسار وسرعة انتشار الموجات الكهرمغناطيسية .

ولتفسير امتصاص الموجات المجاورة لتواتر ترجيعي كان لا بد من إدخال ـ في معادلة المرجع ـ حداً تشتيتياً . ويفسر كذلك التشتت غير العادي ، أي تزايد مؤشر الانكسار بسرعة قصوى مع تزايد التواتر عندما نقترب من تواتر امتصاصي ، وينقص فجأة ضمن شريط الامتصاص ثم يعود إلى التزايد فيما وراء هذا الشريط .

إن الامر يتعلق إذاً بنجاح احرزته نظرية لورنتز ، خاصة إذا علمنا لماذا يصبح التواتر الامتصاصي في الذرة ، أيضاً تواتراً بيِّناً : فالرقاص بين الذرات هو مرسل اشعاع ؛ ويمكن أن نبرز جزئياً إدخال طرف مشتت بخسارة الطاقة الناتجة عنه .

وتتلاءم نظرية الرقاص الجيبي تماماً مع نموذج الذرة المقترح من قبل ج . ج . طومسون في تلك الحقبة : وهو النموذج المؤلف من كرة مشحونة باتساق بكهرباء إيجابية ، فيها يستطيع الالكترون السلبي أن يخترق وأن يرقص . إن هذا النموذج يسهل درسه بواسطة الكهرباء الثابتة ، ونجد تماماً أن الالكترون يشد نحو مركز الكرة بقوة تتناسب مع المسافة . ولكنه لا يسمح بتفسير السبب الذي يعطي للذرة عدة خطوط إمتصاصية . ولانعدام وجود نموذج فيزيائي ، يتوجب الاكتفاء بتعبير عن الثابتة الخازنة حيث تتدخل عدة أطراف متطابقة مع مختلف التواترات الامتصاصية .

وظهر مع نظرية النسبية صعوبة أخرى . في شريط إمتصاصي ، تصبح الثابتة الخازنة أقلُّ من الوحدة : وسنداً لنظرية مكسويل ، يتوجب أن تكون سرعة الموجات فيها أعلى من سرعة الضوء في الفراغ . الأمر الذي يبدو متعارضاً مع مسلمة في نظرية النسبية . ولحلِّ هذا الاشكال ، تبين أن سرعة المرحلة ، المرتبطة مباشرة بمؤشر الانكسار ، لا تضيع في سرعة انتشار الطاقة ، إلا في وسط غير تشتتي . وإذا كان الوسط تشتتياً ، فإن هذه السرعة تصبح كسرعة المجموعة ، وهذا ما قال به هاملتون Hamilton سنة 1839 واستعمله لورد رايلي Rayleigh في « نظرية حول الصوت » . ثم أن هذا المفهوم الأخير يبدو غير كاف بذاته في شرائط الامتصاص . في هذه الحالة الأخيرة ، حدد سومرفيلد Sommerfeld سنة 1907 سرعة إشارة ، وبريلوين سرعة انتشار للطاقة ، سنة 1914 : هاتان السرعتان وحدهما ، لهما في كل الحالات ، معنى فيزيائي ، وهما دائماً أقل من سرعة الضوء في الفراغ ، كما تريده نظرية النسبية . إن هذه المفاهيم تبدو صالحة مهما كانت الموجات ، واستخدمت أعمال سومرفيلد وبريلوين دائماً كأساس لعلماء الالكترون الذين يلاقون صعوبات مماثلة ، خاصة في مرشدات الموجات ، والخطوط الدورية وفي البلاسمات [الغازات الكثيفة التأيين] .

وهكذا عرفت نظرية الالكترونات نجاحات ومصاعب . والنجاح الحاصل سنة 1896 من قبل لورنتز في تفسيره لمفعول زيمان ، كان حجة مهمة لصالحها . وبالشرح المتماسك للعديد من

الأحداث ، دلت نظرية الالكترونيات أن أساسها كان سليماً حتى ولو توجب اصلاحها من أجل استبعاد الصعوبات الباقية .

الخصائص الكهربائية في المعادن ـ في القرن التاسع عشر ، عُرِف أن انتقال التيار في المعادن لا يقترن بنقل مهم للمواد ، بعكس ما هو حاصل في السوائل التحليلية بالكهرباء (الكترووليت) . فكان من الطبيعي إذاً أن تُماهى حاملات التيار ، مع الالكترونات ذات الكتلة الخفيفة التي اكتشفت من عهد قريب ، خصوصاً وأنه أصبح بالامكان ، بعد تحمية المعادن أو بعد رجمها بالضوء فوق البنفسجي معرفة كيفية استخراج الالكترونات منها . إن هذه الواقعة الأخيرة أدت بسهولة إلى استنتاج مفاده أنه يوجد في المعادن الكترونات مرتبطة بوهن ببقية المادة . وعلى أثر طومسون وريكي Riecke ، افترض ب . درود P. Drude (1900) ، إن هذه الالكترونات حرة ، وإنها تشكل نوعاً من الغاز يحتوي الاقسام الايجابية من الذرات . كما هو الحال مع جزئيات الغاز تتحرك هذه الالكترونات بحركة غير منتظمة ، جاء تطبيق حقل كهربائي عليها يراكم فوقها حركة إجمال . وتضايق الايونات هذه الحركة ، وكما هو الحال في النظرية الحركية للغازات ، بالإمكان تحديد مسارٍ وسطي يمثل المسافة المقطوعة وسطياً ، من قبل الالكترون ، بين صدمتين ضد الايونات . وينتج عن ذلك بسهولة تعبير التوصيلية الكهربائية ، كما هو الحال في نظرية الغازات المؤينة . وعند الاصطدامات غير المنتظمة ضد الايونات تنقل الالكترونات إليها قسماً من طاقتها الحركية التي تتحول بالتالي إلى حرارة : إنه مفعول جول Joule .

وبعد أن شرح درود التوصيلية الكهربائية ، حاول أن يفسر توصيل الحرارة بواسطة المعادن ، مفترضاً أن نقل الحرارة يجري بواسطة الالكترونات . وكان التوافق بارزاً ، إذ استطاع أن يستنتج منه القانون الحاصل تجريبياً على يد ويدمان Wiedemann وفرانز Franz : إن التوصيلية الكهربائية σ والتوصيلية الحرارية X تتناسبان ؛ وعلاقتهما المتماثلة ، بالنسبة إلى كل المعادن ، تتمثل بالعبارة : $\chi/\sigma = 3\,(k^2/e^2)\,T$ وفيها ترمز T إلى درجة الحرارة المطلقة وترمز e إلى شحنة الالكترون و k إلى ثابتة بولتزمان .

وبخلال القرن التاسع عشر ، تمّ اكتشاف روابط أخرى بين الحرارة والكهرباء هي الظاهرات الحرارية الكهربائية . في سنة 1822 لاحظ سيبك Seebeck ظاهرة اعتبرت فيما بعد مسببة بظهور تيار كهربائي في حلقة مؤلفة من عدة معادن رفعت مناطق تماسها إلى درجات حرارة مختلفة . في سنة 1834 حصل بلتيه Peltier على انتاج وامتصاص الحرارة تبعاً لاتجاه التيار . ويمكن تفسير هذه الظاهرات نوعياً من خلال نظرية درود . ويتيح الترمودينميك ربطها كمياً ببعضها . وأخيراً نرى أن هذه النظرية تعطي تفسيراً للبث الحراري الايوني . وهنا تتوقف نجاحاتها . وسنداً للتعبير الذي تعطيه هذه النظرية بالنسبة إلى المقاومة الكهربائية ، من المفروض أن تتغير هذه المقاومة تبعاً لتغير الجذر التربيعي لدرجة الحرارة المطلقة في حين تدل التجربة على أن العلاقة هي علاقة خطية .
ومن جهة أخرى يريد الترموديناميك الثابت الكلاسيكي أن يمتلك كلّ الكترون وسطياً طاقة تعادل 3/2 KT ، مثل جزئيات الغاز الكامل ، الأمر الذي يؤدي إلى نتيجة مضلّلة فيما يتعلق بالحرارة النوعية

في المعادن : وهذه المعادن لا تتبع قانون دولونغ Dulong وبيتي Petit في حين أن التجربة تدل على صحة هذا القانون . وأخيراً عندما عمل لورنتز سنة 1905 على تحسين نظرية درود ، محللاً الالكترونات ذات السرعات الموزعة وفقاً لتوزيع مكسويل وليس وفقاً للقيم الوسطى ، وجد عاملاً 2 بدلاً من العامل 3 في قانون ويدمان وفرنز ، محطماً بذلك التوافق مع التجربة . ورغم هذه الصعوبات فإن المظهر الإيجابي في نظرية درود كان مهماً جداً بحيث يصعب التخلي عنه حتى ولو لم تعرف طريقة تحسينه . إن الفرضية الأساس في هذه النظرية أي معرفة الدور الذي تلعبه الالكترونات في التوصيلية الكهربائية في المعادن ، قد تأكدت في جميع الأحوال بإثبات تجريبي مباشر . في سنة 1917 قام تولمان Tolman وستيوارت Stewart بقياس النسبة e/m بين الشحنة والكتلة في الجزئيات المسؤولة عن نقل التيار الكهربائي . وضبطا فجأة بكرة من النحاس تدور بسرعة عظيمة حول محورها : وبفعل الجمود ، نزعت حاملات الشحنة إلى الاستمرار في الحركة ، فأحدثت تياراً في غلفانومتر [مقياس للتلبيس المعدني] متّصل بطرفيه بالبكرة ، بواسطة الاحتكاك . هذه التجربة استعيدت ثم حسنت فيما بعد ، فقدمت قيمة لـ e/m تساوي قيمة الكترونات الأشعة الكاتودية ، مؤكدة بالتالي دور الالكترونات في تمرير التيار الكهربائي .

البث الحراري الايوني ـ من نجاحات نظرية درود كان تفسير الاثر الحراري الايوني ، أي بث الالكترونات بفعل المعادن المسخنة . منذ القرن الثامن عشر لاحظ العديد من المؤلفين ، ومنهم دو فاي Du Fay ، سنة 1733 ان الهواء يصبح موصلاً في جوار المعادن المسخنة . واستلفتت هذه الظاهرة القليل من الاهتمام ، إلى أن جاءت تجارب اجريت بعد قرن من الزمن من قبل آ . بكريل (1853) وغوثري Guthrie (1873) ، ور . بلوندلو Blondlot(1887) . وفي سنة 1880 قام ج . الستير Elster وهـ . غيتل Geitel بدراسة منهجية لتكهرب الأجسام الحارة . وأعطى طوماس اديسون Edison سنة 1881 ملاحظة أساسية حول مرور التيار الكهربائي بين خط حار وقطب بارد وضعاً في نفس اللمبة الفارغة : ولكي يمر التيار ، كان لا بد من جعل هذا القطب إيجابياً بالنسبة إلى الخيط وهذه السمة درسها بالتفصيل و . بريس Preece سنة 1885 ، وبصورة خاصة ج . آ . فليمنغ Fleming سنة 1890 وسنة 1896 . وهي تتفسر بسهولة إن افترضنا أن السلك الحار يبث جزئيات مشحونة سلبياً : وهذا هو البث الحراري الايوني .

وكان المنظِّر الكبير للبث الحراري الايوني أوين وليام ريشاردسون Richardson الذي حاول أن يشرح ، إنطلاقاً من نظرية درود ، التغير الأسّي في التيار المبثوث في خيطٍ حار تبعاً لدرجة حرارته وهو قانون توصل إليه تجريبياً .

لقد اعتقد أن الالكترونات تعلق في الجوامد بقوة شبيهة بالضغط الاصطناعي الذي يحبس الجزئيات داخل سائل فلا يمرر منها إلّا قسماً بحالة البخار . وبعد نقلٍ الصيغة التي أعطت الضغط البخاري ، حصل على القانون التالي : $I = AT^{1/2}\exp(-B/T)$.

ولم يبدُ تحليله مرضياً بنظره ، وبعض التجارب أثبتت الشك في وجود البث الحراري الايوني في الفراغ فأعاد دراسة الموضوع كما فعل ذلك أيضاً العديد من المؤلفين . وبالارتكاز على

اعتبارات حرارية ديناميكية حصل سنة 1912 على المعادلة المعدلة قليلاً : $I = AT^2 \exp(-B/T)$. ولم تستطع التجربة الحسم للاختيار بين المعادلتين والدالة الأُسية غطت على التغيرات بين $T^{1/2}$ و T^2 . إلاّ أن الصيغة الثانية هي المعتمدة في الوقت الحاضر . وبالفعل يمكن تقريرها إنطلاقاً من حساب إحصائي يأخذ بالاعتبار توزيع سرعة الالكترونات . وأكثر من ذلك قدم دوشمان سنة 1923 برهاناً حاسماً حين أثبت أن المعامل A في قانون ريشاردسون المعدل هو ثابتة شاملة قدم قيمتها . وتقديم الميكانيك الكانتي من قبل سومرفيلد سنة 1928 ، لم يترجم إلا بضرب معامل دوشمان Dushman باثنين ، لكي يؤخذ حساب القيمتين (1/2 ±) لدوامة الالكترون . وأتاحت القياسات التجريبية تحديد الثابتين A و B بالنسبة إلى مختلف الأجسام والمعامل B مهم للغاية لأنه يتناسب مع ما يسمى « زخم الخروج في الجسم » . وتفترض نظريات استخراج الالكترونات من الجوامد وجود حائط من الزخم ، فوق سطح الجامد ، يمنع الالكترونات من الخروج . وفي البث الحراري الأيوني ، يعطي تسخين المعدن لقسم من الالكترونات طاقة كافية لتجتازه . وفي سنة 1914 قدر شوتكي Schottky ارتفاع هذا الحائط بحساب قوة الاستعادة الجارية فوق الكترون يخرج من الجامد ، وذلك بطريقة « الصور الكهربائية » المعروفة تماماً في مجال الكهرباء الثابتة . إلا أن الميكانيك الكانتي وحده هو الذي أتاح دقة حساب زخم الخروج .

البث الثانوي والمفعول الكهرضوئي ـ وهناك طرق أخرى عرفت حوالي سنة 1900 وأتاحت اعطاء الالكترونات المزيد من الطاقة اللازمة لها لاجتياز هذا الحاجز من الزخم الكامن . من ذلك أن ضمة من الالكترونات « الاولية » التي تضرب سطح الجامد ، إن كان موصلاً أو عازلاً ، تستطيع استخراج الكترونات « ثانوية » . إنها عملية البث الثانوي التي اكتشفت في تلك الحقبة بفضل اوستن Austin وستارك Starke .

إلا أن الظاهرة الأكثر أهمية هي الأثر الكهرضوئي ، الذي اكتشف علي يد هـ . هرتز سنة 1887 ، ودرس في السنوات اللاحقة من قبل هالواش Hallwachs : إن الجامد يستطيع أن يبث الكترونات بتأثير من الاشعاع الضوئي أو فوق البنفسجي . لم تبدُ هذه الظاهرة غريبة في بادىء الامر إذ كان معروفاً أن الاشعاع ينقل الطاقة . وادت دراستها التجريبية إلى حدث مزعج ، اثبته لينارد ومفاده : إن نحن غيرنا زخم الضوء ، دون أن نعدل في توزيعه الطيفي فإن عدد الالكترونات المبثوثة يتغيّر نسبياً مع تغير الزخم الضوئي ، ولكن سرعة الالكترونات تبقى واحدة . وبدت هذه النتيجة مدهشة بشكل خاص عندما أصبح زخم الضوء ضعيفاً للغاية إذ بدا عندئذ تجمع قسم كبير من الطاقة الضوئية المستقبلية ، فوق كل الكترون مبثوث .

ولتفسير هذه الحادثة وضع انشتين الفرضية القائلة بأن الضوء يتكون من حبيبات من الطاقة هي الفوتونات التي تتناسب طاقتها $h\nu$ مع التواتر ν وقد سبق لبلانك في نظريته حول اشعاع الجسم الاسود أن كمم طاقة الرقاصات التي تنتج الاشعاع ، ولكنه افترض أن الطاقة الكهرمغناطيسية قد تتغير بشكل مستمر .

وكانت وجهة نظر انشتين أقرب إلى المنطق ولكنها أيضاً أكثر جرأة لأنّه تصدّى لمفهوم كلاسيكي للموجة الكهرمغناطيسية . وفي ما بعد جاء الميكانيك التموجي يوفق بين وجهتي النظر

معطياً للحقل الكهرمغناطيسي مظهراً مزدوجاً تموّجياً وجسمياً .

وثبتت نظرية الأثر الضوئي التي اقترحها انشتين بفضل القياسات التي اجراها ميليكان بواسطة ضوء وحيد اللون فقد بينت هذه القياسات أن الطاقة في الالكترونات المبثوثة تتمثل بالعبارة التالية : $h\nu - e\Phi$ وفيها تمثل Φ زخم الخروج المحدد بدراسة البث الحراري الايوني . ويتفسّر هذا القانون بسهولة إن نحن افترضنا أن كل فوتون يعطي طاقته $h\nu$ للالكترون يجب أن يقدم هو نفسه العمل $e\Phi$ لكي يخرج من الجامد . وبين هذا القانون أن الأثر الضوئي الكهربائي لا يمكن أن يحدث إلا بفعل ضوء ذي توتر عالٍ بشكل كاف بحيث تكون طاقة الفوتون $h\nu$ أعلى من جهد الخروج $e\Phi$.

التأين ـ إن ظاهرات تأين الذرات يمكن مقارنتها باستخراج الالكترونات من الجوامد وهكذا يقترب التأين عن طريق الضوء فوق البنفسجي من المفعول الكهرضوئي . إن نموذج ذرة طومسون قلما يفيد في تفسير الظاهرات المعقدة الملحوظة في الغازات المؤينة وعلاقتها مع بث الضوء في الأنابيب التفريغية . ولم يكن الأمر هكذا في نموذج اقترحه بوهر سنة 1913 .

إذ وفقاً لنظرية بوهر Bohr لا يمكن أن تحتل الالكترونات في الذرة إلّا حالات ثبوتية تتوافق مع مدارات اهليلجية لا تستطيع فيها الالكترونات التشعيع . ويستطيع الكترون قوي بالطاقة بشكل كافٍ ، إذا اصطدم بذرة، أن يعطيها قسماً من طاقته وينقل الكتروناً داخلياً من مستواه الطبيعي E_1 إلى مستوى طاقة أعلى E_2 ، أي اثارة الذرة ، أو حتى انتزاع الكترون داخلي أي تأيين الذرة : ويقال عندئذٍ أن الالكترون تلقى صدمةً غير مطاطية بعكس الصدمات المطاطية حيث تحتفظ الذرة بطاقتها الداخلية ثابتة وتتصرف كجامد لا يتغير شكله في الميكانيك الكلاسيكي .

وعند رجوع الالكترون الداخلي من المستوى E_2 إلى المستوى E_1 فانه يفرز فوتوناً تواتره يساوي $\nu = (E_2 - E_1)/h$. إن عملية البث هذه للموجات الكهرمغناطيسية التي هي وحيدة عملياً في الضوء المرئي ، قد لعبت دوراً غير مهم في الاشعاع الكهربائي إلى أن جاءت الأعمال التي انتهت باكتشاف المازر سنة 1950 [المازر هو مكبر اشعاعي] .

وتأكدت أفكار بوهر منذ 1913 ، بفضل تجربة مهمة قام بها ج . فرنك وج . هرتز .

أحدث فرنك وهرتز ضمة من الالكترونات ذات السرعة المضبوطة بفضل جهاز من الشبك ضمن بخار الزئبق ، وقاسا التيار المستقبل فوق أنود (قطب إيجابي) تبعاً لطاقة الالكترونات . ورصدا وجود حدود دنيا تتوافق مع الطاقات الحائة في الزئبق . وقارنا الطاقة الدنيا الحائة (4,9ev (4,9 الكترونفولت)) بتواتر الخط الضوئي الصادر عن الذرة المحفزة ، فحصلا على قيمته الثابتة h البلانكية . واعتبر بلانك تحديد h وكأنه الأكثر قرباً إن لم يكن الأكثر دقة .

وتفسر الصدمات بين الذرات ذات الطاقة الحرارية الكافية تأيين غازين مسخنين وخاصة اللهب . إن معامل التأيين يمكن أن يتحدد بفضل الحرارة الديناميكية . إن الامر يتعلق هنا بتوازن من الذرات ، وبين الايونات والالكترونات من جهة أخرى وهو توازن يشبه التوازنات الكيميائية . وتمت دراسة هذا التوازن بفضل مغ نادساها Megh Nad Saha سنة 1920 . ووضعت نظرية

الفضاءات الكوكبية ، من أجل نظام يبعد كل البعد عن الالكترونيك ، ولكنها شكلت مساهمة مهمة في معرفتنا للغازات المؤينة .

III ـ اختراع الانابيب الالكترونية ونهضة الكهرباء الاشعاعية

الديود [الصمام الثنائي] الحراري الايوني ـ فيما كان العلماء يوضحون نظرتهم حول النظرية الالكترونية في المادة أخذ باحثون آخرون في استعمال الالكترونات لغايات عملية . فارتأى فليمنغ امكانية التقاط التموجات الكهربائية بواسطة صمّام حراري أيوني . وفي سنة 1905 سجل هذه الطريقة رسمياً من أجل قلب التيارات التناوبية إلى تيار مستمر . وأثناء السنوات اللاحقة ساهمت الاكتشافات العديدة والتحسينات في صنع أنابيب فراغ حديثة انطلاقاً من ديود فليمنغ Fleming (في الكهرباء مقوم للتيار ، وهو انبوب ذو قطبين لبثّ الاشعاعات الضوئية) .

واكتشف وهنلت Wehnelt وهو يدرس بث خيط من البلاتين عارضة الكاتود الاكسيدي سنة 1903 ولاحظ وجود بث في بعض أقسام من الخيط في درجة حرارة منخفضة جداً بحيث يصعب نسبه إلى الخيط بالذات ؛ فافترض وهنلت أن البث يعود إلى شوائب . وبعد التفحص المنهجي لبث الاوكسيدات المعدنية ، استنتج أن الاوكسيدات القلوية الترابية هي أفضل الباثات الحرارية الأيونية . وأخذ العديد من المؤلفين يومئذٍ في درس عملية الكاتود الاوكسيدي ، ولكن كان لا بد من انتظار بروز نظرية الموصلات النصفية لفهم مسار العملية التي ما تزال نقاطها العديدة غامضة ولم يمنع هذا من استخدامها (أي استخدام عملية البث) في كل أنابيب استقبال الاشعاع الكهربائي .

وفي سنة 1910 تقريباً اشتغل ايرفن لانغموير Langmuir بمختبر جنرال الكتريك في تحسين المصابيح التوهجية وفي صنع أنابيب اشعة اكس ذات الفراغ القوي . وكان لاغموير كيميائياً بتنشئته فأجرى بحوثاً رائعة حول غاز التانغستين مما أدى إلى صنع المصابيح التوهجية ذات الانتاجية الكبيرة وصنع الكاتودات من أجل الأنابيب الفراغية . وفي سنة 1913 نشر لانغموير دراسة مهمة حول العوامل التي تخفض البث الحراري الأيوني إلى قيمة أدنى من القيمة التي أعطتها معادلة ريتشاردسون وبفضل أعماله حول المصابيح ذات أسلاك التنغستين ، استطاع أن يحل بث الالكترونات داخل فراغ كامل بفضل المعادن النقية .

في بادىء الأمر شكلت الالكترونات المبثوثة « شحنة فضائية سلبية » حدّت من البث في درجات الحرارة المرتفعة في الكاتود ، وفي الضغوطات الخفيفة على الأبود : فاستنتج لانغموير أن التيار يتناسب مع القوة بمعدل ثلاثة أنصاف الضغط على الأنود ، إلى أن يبلغ التيار قيمة الاشباع التي يعطيها قانون ريتشاردسون . وفي الواقع وضع تشايلد سنة 1911 صيغة مماثلة لتيار من الايونات الايجابية واستكمل العمل الذي قام به لانغموير والذي يتناول الايونات ذات الالكترودات المسطحة بدراسة قام بها لانغموير وك . بلودجت Blodgett عن الالكترودات القوية والاسطوانية (سنة 1923) ، وعنيت بتوزيع سرعات الالكترونات التي يبثها الكاتود . ودرس لانغموير مفعول الغازات المتخلفة على التيار المبثوث وركز اهتمامه على تقنية الفراغ . وفي سنة 1916 حقق المضخة التكثيفية ذات بخار الزئبق وهي شكل محسن جداً للمضخة الناشرة أو الباثة التي اخترعها

و . غايد Gaede سنة 1915 . إن التقدم في تقنية الفراغ قد اتاح بداية حقة لسلسة من الانابيب الالكترونية . من ذلك أنه في سنة 1915 صنع دوشمان مساعد لانغموير ديوداً ذا فراغ مكثف اتاح تجليس وتقويم التيارات المرتفعة تحت ضغوطات قوية وسماه باسم « كينوترون » (مقوم التيار) ووجد هذا الديود تطبيقات عديدة وبسرعة .

اختراع التريود أو الصمام الثلاثي - في حوالي سنة 1903 عمل لي دي فورست Lee de Forest ، هو أيضاً، للحصول على لاقط حساس بالنسبة إلى الموجات الهرتزية . وبعد عدة محاولات توصل إلى أن يضع في لمبة فارغة قطباً حاراً وقطباً بارداً وصلهما بالارض وبدائرة الاستخدام مع الاتصال التسلسلي مع بطارية . وكان هوائي الالتقاط موصولاً بورقة معدنية تحيط باللمبة ، ثم ابتداء من سنة 1906 وصل هوائي الالتقاط بقطب ثالث داخلي اعطى سنة 1907 شكل شبك موضوع بين الكاتود والآنود .

وهكذا حقق لي دي فورست أول مصباح بثلاثة مسارب أو أقطاب ، وسماها الأديون الذي هو جد التريودات الحديثة واستعملت هذه اللمبة كلاقط فقط حتى سنة 1912 تقريباً ، وأدّى تماثلها مع ديود فليمنغ أو انبوبه إلى قيام نقاش طويل حوله . إلا أن وجود قطب قيادة « جعل من هذه اللمبة همزة وصل من شأنها أن تضخم الاشارات المستقبلية » وحاول ف . لوفنشتين Lowenstien سنة 1911 أن يستخدمها كمضخم فواجه صعوبات كبرى بسبب الفراغ غير الكافي السائد داخل الأنبوب . ومع ذلك فقد نجح في السنة التالية وسجل براءة الاختراع المضخم « مرتبة A » وهو مضخم ذو ثلاثة أقطاب « تريود » يعمل ضمن النظام الخطي .

وانتشر الاهتمام بالانبوب ذي الثلاثة أقطاب في العديد من البلدان قبل سنة 1914 . في فرنسا شجع الكبيتان فريه Ferrié مساعده هـ . ابراهام على الصنع وعلى التحسين . وفي المانيا بدأ ر . فون ليبن Von Lieben أعمالاً حول الأنبوب الثلاثي الاقطاب حتى اعتبر أحياناً وكأنه المشارك في اختراع التريود . وفي سنة 1915 قدم لانغموير تحسيناً حاسماً حين صنع « البليوترن » (الصمّام المتعدّد) وهو تريود ذو فراغ مكثف لم يكن عمله يشوش بتأين الغاز التخلفي . ضمن هذه الشروط تمتلك أنابيب الفراغ مرونة كبيرة عند الاستعمال ، الأمر الذي أعطاها النجاح . وقد زيدت إمكاناتها بإدخال الشباك الإضافية : اختراع « التترود » أو الأنبوب ذي الأقطاب الأربعة من قبل هول Hull وشوتكي Schottky سنة 1916 ؛ واختراع « البانتود » أو الخماسي الاقطاب على يد الهولندي تليجين Tellegen سنة 1928 .

التلغراف اللاسلكي (S.T.F) قبل أنابيب الفراغ - في الوقت الذي ظهرت فيه الأنابيب الالكترونية طبقت الكهرباء الاشعاعية عملياً في التلغراف اللاسلكي . في حين حقق خلفاء هـ . هرتز في المختبر تجارب ابصارية هرتزية ، خطر لماركوني Marconi حوالي سنة 1895 استعمال الموجات التي اكتشفها هرتز ليصنع منها التلغراف اللاسلكي . وبذات الوقت عمل آ . بوبوف Popov في روسيا على اكتشاف المواصف وذلك بالتقاط الموجات التي تحدثها بواسطة لاقط مزود بهوائي . وفيما بعد وحتى وفاته التي حصلت سنة 1906 ، حاول أن يحقق اتصالات اشعاعية كهربائية على مسافات تتزايد باستمرار . إلا أن التجارب الأكثر وضوحاً ، وهي التجارب التي

أخرجت التلغراف اللاسلكي ، أجريت من قبل ماركوني في انكلترا ابتداء من سنة 1897 . فقد استخدم كل العناصر المتاحة له : مثل مفجر هرتز ، وطوق تسلا Tesla وهوائي بوبوف وكشاف برانلي Branly فأقام اتصالاً عبر بحر المانش سنة 1897 ، ثم فوق الاطلسي سنة 1902 فكذب التنبّوات المتشائمة حول إمكانات التقاط الموجات الاشعاعية الكهربائية على بعد آلاف الكيلومترات .

ووجهت هذه النجاحات الاشعاعات الكهربائية الناشئة في طريق مختلف جداً عن طريق الابصار الهرتزي : إنها طريق نقل المعلومات ، في بادىء الامر عبر التلغراف اللاسلكي وأخيراً عبر التلفون اللاسلكي ، عن طريق البث الاشعاعي وعن طريق التلفزيون ثم عن طريق الاشعاعات الهرتزية . وانتشر استعمال محطات التلغراف اللاسلكي بسرعة : واقيمت محطات فوق السفن من قبل ماركوني منذ سنة 1988 ، واستعملت هذه المحطات خلال الحرب الروسية اليابانية عام 1904 . وقد استعملت في بادىء الامر سلاسل الموجات الملطفة ، تحدثها مرسلات ذات مفجرات ، انتجت بأشكال متعددة . في هذه الأثناء جرى البحث السريع للحصول على موجات مغذاة تتلاءم مع التلفون وكان هناك حلاّن في العقد الأول من القرن العشرين : الأول هو المرسل القوسي والثاني هو المرسل التناوبي . والمرسلات ذات القوس ، اخترعها الدنماركي بولسن Poulsen سنة 1903 فأعطت قوى ذات طاقة تبلغ مئات الوف من الكيلواط ، إنما بأطوال موجات تقل عن ألف متر . في الولايات المتحدة بيّن نيكولا تسلا وهو مهندس من أصل صربي قدم مساهمات مهمة للتقنية الكهربائية ، انه يوجد سبيل آخر وذلك حين صنع سنة 1891 مناوباً ذا 384 قطباً يمكنه أن يحدث تواتراً مقداره عشرة كيلوهرتز . وقد وضعت مناوبات ذات تواتر عال لتجهيز الشبكة التلغرافية الدولية بعد الحرب العالمية الأولى : وكان بعض هذه المناوبات قد ظل يعمل حتى سنة 1944 .

وبذات الوقت الذي كانت تتطور به المرسلات أو الباثات تم اكتشاف لاقطات جديدة . في سنة 1900 انجز فريه اللاقط الكهربائي التحليلي . ونجح اللاقط الكبريتي الرصاصي (الغاليني) ، الذي ما يزال يستعمل من قبل بعض الهواة ، وكان هذا اللاقط أول موصل نصفي استعمل في الكهرباء الاشعاعية .

استعمال الأنابيب ذات الفراغ ـ تلك كانت الحالة عندما بدىء باستعمال الانابيب الفراغية كمضخمات سنة 1912 . والواقع أن فكرة التضخيم كانت معروفة من قبل : من ذلك أنه من أجل استدراك ضعف الاشارات على الخطوط التلفونية ، تم وضع « موصلات ميكروفونية » ، بخلال مسافات منتظمة ، وتتألف هذه الموصلات من ميكروفون أو مضخم يوضع في مواجهة سماعة :وقد يكون للتيار المحدث بفعل الميكروفون زخم أقوى من زخم التيار الذي تلتقطه السماعة . إلا أن الأنابيب الفراغية كانت ذات استعمال أكثر مرونة . فقد كان يكفي توصيل ضغط تناوبي ذي ضخامة ضعيفة ، فوق شبك التريود ، من أجل الحصول على طاقة أكبر بكثير من حلقة الأنود .

ولاحظ العديد من المؤلفين إمكانية الاستزادة من فوائد المضخم وذلك برد قسم من الطاقة ذات التواتر العالي المحدثة في حلقة الأنود ، على المنخل ، مما يعني استحداث « ردة فعل » . ولاحظ الألماني ميسنر Meissner أن المضخم يحدث بذاته تموجات كهربائية عندما يتجاوز معدل

ردة الفعل عتبة الانطلاقة ، وفي سنة 1913 سجل أوّل براءة حول استعمال التريود التأرجحي .

وهناك مثل على غنى الامكانات المتوفرة عن طريق أنابيب الفراغ هو اختراع المذبذب المكثف من قبل هـ . إبراهام وآ . بلوخ سنة 1918 وهذا المذبذب هو جهاز لا يعطي أرجحة جيبية بل يتأرجح بدون توقف بين موقعين غير مستقرين . وقد فتح هذا « القبان الالكتروني » الطريق إلى إدخال انابيب الفراغ في الحاسبات العددية قبل ذلك بعدة سنوات .

وهناك وظيفة أخرى قامت بها الأنابيب الفراغية ، هي تعديل ضخامة موجة تحمل توتراً عالياً وذلك بأرجحة ذات تواتر منخفض . ورغم أن هذه الوظيفة تلعب دوراً أساسياً في نقل المعلومات عبر الموجات الكهرمغناطيسية ، إلا أن معنى مفهوم الاعتدال أو التعديل لم يبرز في بادىء الامر . وفي سنة 1910 ساد الاعتقاد بأن الموجة المعدلة لها تواتر وحيد وضخامة متغيرة . وبقيت الدراسة الرياضية للموجة المعدلة ، من قبل ك . ر . انغلند Englund في آب سنة 1914 ، بدون نتيجة عملية . ولكن في كانون الأول سنة 1914 بيّن ر . آ . هيسن Heising بصورة تجريبية أن الموجة المعدلة تحتوي زيادة على الناقلة ، شريطين طوليين يمكن فصلهما بواسطة المصافي . وفي سنة 1915 بيّن ارنولد Arnold وكارسون Carson أن كل شريط جانبي يكفي لنقل كل المعلومات . وأدى هذا بصورة تدريجية إلى مراكمة الخطوط التلفونية ثم قنوات التلفزيون ، أحدها إلى جانب الآخر ضمن طيف التواترات ، بفصل التضمين والتصفية : ونتج عن ذلك تقدم موازٍ في طرق نقل الأخبار بالخط أو بدون سلك . وهناك وسائل أخرى للتضمين ، قدمت فيما بعد مكنة جديدة . ذلك كان الحال مع تضمين الموجات وتحويلها إلى تواتر ، وهو أمر درس منذ سنة 1920 إلا أنّ جدواه لم تظهر إلاّ سنة 1936 على أثر أعمال أرمسترونغ Armstrong . وتجاه كل نمط من أنماط التضمين ، وتجاه كل شكل من أشكال الموجات نطابق اليوم « طيفاً ذا « تواترات » ، بفضل تحليل فورييه Fourier ، ومن المسائل الأكثر أهمية في الاتصالات المسافية ، وضع أكبر عدد ممكن من المعلومات في شريط تواتر ضيق ما أمكن . وتم التوصل إلى حل هذه المسألة بواسطة أطواق معقدة مكونة من أنابيب ومن شبكات كهربائية .

نظرية الشبكات الكهربائية ـ من أجل الإفادة من الأنابيب الالكترونية ، لا بد في هذا المجال من ربطها بمقاومات ، وبقدرات وبحاثات وبمحولات تشكل شبكات كهربائية . والقوانين التي تحكم الضغوطات والتيارات في هذه الشبكات وضعها كيرشهوف Kirchhoff سنة 1845 . أما استخدامها فقد سُهل باستعمال مفهوم المعاوقة الذي أدخله هيفيسايد سنة 1886 ليعبّر عن العلاقة بين الضغط والتيار في حلقة مكوّنة من مقاوم ومن محاثة ، وتعمم هذا التطبيق في السنوات التالية فشمل الأطواق (المدارات) التي تحتوي على قدرات . وتصوير المعاوقات بشكل أسهم أو أعداد معقدة ، بفضل كينلي Kennelly وستينمتز Steinmetz أدّى خدمات عظمى في مجال الالكترونيك وفي مجال البث الكهربائي ، كما أتاح هذا التصوير استخراج العديد من سمات الشبكات من سمات الوظائف التحليلية : نذكر على سبيل المثال الصيغ التي توصل إليها و . بود Bode وم . بايار Bayard سنة 1935 حين وضعا علاقة بين القسم الحقيقي والقسم الخيالي في المعاوقة ، أو بين الضعف والانقطاع المحدثين داخل الشبكة .

وبفضل سمات الوظائف التحليلية أتاح مفهوم المعاوقة الحصول على خصائص في الشبكات الخاضعة لضغوطات كهربائية لولبية . ويستنتج من هـذا سماتهـا بالنسبـة إلى أنظمـة متغيّرة وأكثر تعقيداً بفضل طريقة « الحسـاب العملياتي » . وهـذا الاسلوب بشكله البدائي أدخله هيفيسـايد في أواخر القرن التاسع عشر . أما دقته الرياضية فقد كانت موضوع جدل شديد . وقد أثبت سنـة 1939 بفضل أعمال كارسون ، بواسطة تغييرات فوريه ولابلاس لنظرية دالات المتغيرات المعقدة . وبهذا الشكل فقد توضح بفضـل نظريـة التوزيعـات التي قال بها ل .شوارتـز Schwartz ، وقدوجـد هذا الاسلوب تطبيقات عملية في مجال السمعيـات ، وفي مجال البصريات حديثاً .

وإدخـال عناصـر ناشـطة في الشبكات ، عنـاصر مثـل الانـابيب الالكترونيـة ، يـطرح مسـألـة استقرارها : وبالاستناد إلى نظرية الدالات المتعلقة بالمتغيرات المعقدة ومفهوم التفاعل وضع هـ . نيكويست Nyquist في سنة 1932 معياراً مهمّاً حول الاستقرار يطبق أيضاً على السرفوميكانيسم (أي مضاعفات الأُوليات) . لقد سبق ورأينا مفهوم التفـاعل في انتقالالمضخمات إلى المؤرجحـات . في هذه الحالة « يوجد تفاعل إيجابي » ، فالجزء من إشارة الخروج إذا أعيد إلى المدخل توجب أن يكون متطوراً بتطور الإشارة المبثوثة في المضخم لكي تنضاف إليه . وعندها يـزداد كسب المضخم حتى يصبح غير محدود : وعندئذٍ يصبح الجهاز غير مستقر فيولد الطاقة وفقاً لتـواتر خـاص به ، أمـا بشكل ذبذبات لولبية أو بشكل ذبذبات استرخائيـة ، أو بشكل تـأرجح بين حـالتين غير مستقـرتين . وبـالتـأكيـد حتى يكـون هـذا ممكنـاً ، يتـوجب أن تتضمن الشبكـة عنـاصـر نـاشـطة ، أنـابيب أو ترانزستورات مثلاً تقدم للشبكة الطاقة . وإذا أعدنا قسمـاً من إشارة الخـروج نحو المـدخل عكس الانتقـال فإنّ هـذا القسم ينطوح عكساً من الإشارة المبثـوثة : وهـذا « التفـاعـل السلبي » يخفض مكسب المضخم ؛ ومن بين منافعه أنّه يجعل المكسب أقلّ تحسساً تجـاه التغيرات الخـارجية وأنـه يشكل تفاعلية استقرارية . ولمفهوم التفاعل مدلول عام جداً ودراسته تعطينا ملخصاً ريـاضياً يفهمنـا بصورة أفضل الاواليات الطبيعية لعدم الاستقرار (التفاعل الإيجابي) ، أو بالعكس أوالية الاستقرار والضبط في مجـالات كثيرة التنـوع . ولمفهوم التفـاعل هـذا أهمية أوليـة في مجـال الالكتـرونيـك التطبيقي .

وتبقى نظرية الشبكات الكهربائية حية للغاية ، تستعين بالطرق الرياضية الأكثر حداثة دون أن تعمى عن المظاهر الفيزيائية . من ذلك أن الحسـاب التوتـري والمصفوفي يلعب دوراً أسـاسياً منـذ نشر كتاب ج . كرون Kron وعنوانه « تطبيق المـوتّرات على تحليـل الآلات الكهربـائية الـدوارة » وذلك سنة 1938 . وحـدها الـطرق الأسـاسيـة تتيح تفسيـر العلاقـات بين الضغط والتيار في مختلف فروع شبكة معقدة ودرس تنقل الطاقة بين مختلف محطاتها .

وقدّمت الطوبولوجيا عوناً مهماً : فقد قادت س . مـايسون Mason إلى أن يـدخل ، في سنـة 1953 طـريقـة سجـلات الـدفق وهي الـطريقـة التي تستخـرج بعض سمـات الشبكـات من بنيتها الطوبولوجية . ومجمل هذه الطرق قد ساعد في صنـع أنابيب الفـراغ والترانـزيستورات فيمـا بعد ، ولغايات عملية أو علمية .

الضجـة في المضخمات والـلاقـطات ـ في كـل علاقـة بين الاتصـالات ، السلكيـة أو غيـر

السلكية ، وفي كل التقاط اشارات ، تعتبر حساسية اللاقط عنصراً أساساً . في بداية بروز البث الكهربائي اللاسلكي كان موضوع الكشاف أو اللاقط أحد أهم المواضيع . واليوم يعتبر تخفيف ضجة العمق هماً دائماً بالنسبة إلى التقنيين وبالنسبة إلى المجربين . والواقع أن مسألة الضجة تتجاوز إطار البث الكهربائي اللاسلكي . في مقدمة الكتاب الذي خصّصه ب . غريفيه Grivet وآ . بلاكير Blaquière « لضجة العمق » ، سنة 1958 ، أشار د . غابور Gabor بأن « حدود الكون البشري تتحدد بفعل ضجة الاعماق ; وبهذا اكتشاف أساسي في عصرنا . هذا صحيح بالنسبة إلى القضاء ، عند الحد الميكروسكوبي كما عند الحد الكوني كذلك بالنسبة إلى الزمن ، سواء أردنا استكشاف الماضي أو التنبّؤ بالمستقبل . كان الاقدمون يتصورون طرف العالم كشير مقفر على شاطىء بحر ضبابي أما المعاصرون فلم يبق من هذه الصورة في ذهنهم إلا الضباب ، ضباب يتموج لا يمكن لمسه ولا يمكن سبره كما الفولاذ » .

ومنذ زمن بعيد من المعروف أن الضجة تحد من حساسية الأجهزة الكهربائية . وبينت مدام ج .دي هاز ـ لورنتز de Haas-Lorentz من سنة 1912 ان حساسية الغلفانومتر محدودة بالتأرجحات التي تعكس الحركة البرونية على المستوى التضخيمي الكبير (ماكروسكوبيك) . وكذلك ضجة أعماق المضخمات الالكترونية تحد من حساسية اللاقطات في مجال البث الكهربائي : وقد أوضح و . شوتكي أصل هذا سنة 1918 حين بيّن بأن البنية الحبيبية للكهرباء تجر تغيرات في عدد الالكترونات المبثوثة بالمفعول الحراري الأيوني . وتغيرات التيار الذي ينتج عنها في أنابيب الفراغ ، تحدث « ضجة الحبيبات » التي قال بيها شوتكي . في سنة 1928 درس ج . جونسون Johnson بصورة تجريبية مصدراً ثانياً للضجة سبق أن أشار إليه شوتكي أيضاً : كل مقاومة تحدث ضجة في العمق لا تتعلق قوتها إلا بدرجة الحرارة . وفي ذات السنة قدم هـ . نيكويست نظرية هذه الضجة ، مما أتاح لمولين Moullin ومعاونيه أن يستخلصوا ثابتة بولتزمان حول قياسات الضجة البث كهربائية : والواقع أن نظرية الضجة الحرارية في مجال البث الكهربائي هي ذات علاقة مباشرة بنظرية اشعاع الجسم الأسود . ويمكن ـ بالنسبة إلى كل مركب من مجمل اشعاعي كهربائي ـ تعريف « درجة حرارة مساوية الضجة » وتعادل درجة حرارة المقاومة التي تشع نفس قوة الضجّة بتواتر معين . إن درجة الحرارة في ضجة المضخم المثالي تساوي الصفر المطلق .

وقد أتاح تطبيق هذه النظريات صنع مضخمات حساسة جداً بواسطة التريودات والبانتودات ، وبصورة خاصة بفضل أعمال اجراها د . نورث North وآ . سبينك Spenke من سنة 1937 إلى سنة 1940 . ومنذ سنة 1945 وضعت نظريات مشابهة بالنسبة إلى الترانزيستور وإلى البلورات الكشافة وبالنسبة إلى الخلايا الاشعاعية التي انجزها آ . فان درزيل Van der Ziel وباحثون آخرون .

انتشار الموجات الكهربائية اللاسلكية أو الاشعاعية حول الأرض . اكتشاف الجو المؤين ـ ارتبط نجاح تجارب النقل اللاسلكي ليس فقط بنوعية المعدات المستعملة في البث وفي الالتقاط بل أيضاً بشروط انتشار الموجات .

والتجارب التي أجراها ماركوني في بداية ظهور البث التلغرافي بين بورتثموت Portsmouth في بريطانيا وبين سبيزيا Spezia في إيطاليا ، دلت على أن الموجات اللاسلكية الكهربائية يمكن أن تنتشر إلى ما وراء الأفق وتصل إلى مسافات بعيدة على الرغم من استدارة الأرض . وعزيت هذه الظاهرة في بادىء الأمر إلى تشتت الموجات وانحرافها . فإذا افترضنا أن الأرض جسم موصد تماماً ، فإن مسألة الانحراف تشبه المسألة التي عالجها هـ . بوانكاريه في مجال البصريات وفي مجال السمعيات . ولكن المسألة تتعقد إذا أردنا أن نتعرف على التوصيلية النهائية في التربة أو في البحر . وقدم سومرفلد حلاً دقيقاً للانتشار عند وجود تربة ذات توصيل متناه ، ولكنها مفترضة مسطحة ، وذلك في نشرات صدرت سنة 1909 و 1926 . وكرست أعمال أكثر جدة لهذه المسألة من قبل زينيك Zenneck ، وفان در بول Van der pol ، ونيسن Niessen ، ونورتون Norton . وأصبحت المسألة أكثر تعقيداً بإدخال التوصيلية النهائية ، وكروية الأرض بآنٍ معاً : وأتاحت أعمال واتسون Watson ، ثم أعمال اكرسلي Eckersley وويدنسكي Wedenskey وفان در بول وبريمر Bremer الذين أخذوا الامر في الحساب ، فهماً أفضل لبعض الخصوصيات في الانتشار البعيد المدى .

ودلت حسابات بوانكاريه على أن الانحراف لا يفسر نجاح النقل عبر الاطلسي الذي حققه ماركوني سنة 1901 . وبذات الوقت تقريباً اقترح كينيلي في الولايات المتحدة وهيفيسايد في انكلترا وناغاوكا Nagaoka في اليابان ، في سنة 1902 ، إن الموجات يمكن أن تدور حول الأرض بفعل الانعكاس على طبقات عليا في الفضاء مؤينة ، وهي فرضية دعمها في فرنسا آ . بلوندل سنة 1903 وهـ . بوانكاريه سنة 1904 .

كتب هيفيسايد في كتابه المعنون نظرية الكهرباء الغناطيسية ، وفيه بيّن أن خطوط النقل تحدث نوعاً من التوجه في الموجات ، يقول : « يحدث شيء مماثل في التلغراف اللاسلكي . فماء البحر وأن كان شفافاً بالنسبة إلى الضوء ، يتمتع بتوصيلية كافية تجعل منه موصلاً للموجات الهرتزية ، وهذا ينطبق ، وإن بصورة أقل كمالاً ، على الأرض ـ وبالتالي تتكيف الموجات فوق سطح البحر كما لو أنها تسير في خطوط . . . وقد يوجد أيضاً طبقة موصلة بشكل كافٍ في الفضاء العالي . فإذا كان الامر كذلك فإن الموجات تتشبث بهذا الفضاء إلى حد ما ، وإذا جاز القول . وعندها يتم التوجيه من قبل البحر من جهة ، ومن قبل الطبقة العليا من جهة أخرى » .

ومنذ سنة 1880 استشف علماء فيزياء الأرض وجود هذه الطبقة المؤينة لتفسير بعض خصوصيات الفجر القطبي والحقل المغناطيسي الأرضي . إلا أن هذه الفرضية لم تتم برهنتها تجريبياً . وكذلك كان الحال ، لمدة طويلة ، بشأن اقتراح كينلي وهيفيسايد ، رغم حسابات واتسون وإكليس Eccles .

وكانت بداية الأعمال التجريبية حول الفضاء المؤين (يونوسفير) غير غريبة بدون شك على نجاح تجارب النقل البعيد بواسطة الموجات القصيرة : فأطوال الموجات التي تقل عن 200 متر تركت للهواة إذ بدت أنها قليلة الجدوى ، إلا أن مجموعة من الاميركيين حسنة التجهيز قامت سنة 1921 بعملية كبيرة مكنتها من الاتصال بهواة إنكليز ؛ وبعد ذلك بسنتين قام هاو فرنسي بتثبيت

الاتصال بين فرنسا واميركا في الاتجاهين . وكان نجاح هذه التجارب ما يزال يومئذ غير مفسر كما كان الحال بنجاح ماركوني سنة 1901 ، لو لم يتم ادخال الفضاء المؤين .

وقدم البرهان التجريبي على وجود الفضاء المؤين أو الكرة المؤينة سنة 1925 من قبل ابليتون Appleton وبارنت اللذين لاحظا وجود تداخل بين موجة معكوسة على الكرة المؤينة ، وموجة منقولة مباشرة إلى اللاقط . وفي السنة التالية انجز الاميركيان بريت Briet وتوف Tuve طريقة السبر الأكثر استعمالاً : فارسلا نحو السماء إشارات (طقات) تشبه الإشارات التلغرافية المورسية (نسبة إلى مورس) ، فحصلا على ارتفاع الطبقة حين قاسا الزمن الذي وضعته الموجة لكي تصل إلى اللاقط بعد أن تكون قد انعكست عليه ، وأمكن تبيين وجود طبقة مؤينة على ارتفاع قريب من 120 كلم . . ، هي الطبقة E ، وعليها تنعكس الموجات الطويلة التي يبلغ تواترها 3,5 ميغاهرتز (Mhz) . وفيما بعد اكتشف ، بين 200 و 400 كلم ، ارتفاع طبقة F تلعب دوراً أساسياً من أجل عكس الموجات القصيرة حتى تواتر 7,5 ميغاهرتز ، ثم فيما بعد تم اكتشاف طبقة D عند حدود 80 كلم . وفي الواقع تبدو بنية الكرة المؤينة (يونوسفير) معقّدة جداً ، لأنّها تتغير بين الليل والنهار . في سنة 1935 بين جواوست Jouaust وبورو Bureau في المختبر الوطني للبث الكهربائي وجود علاقة بين التغييرات في اليونوسفير أي الكرة الفضائية المؤينة ، والنشاط الشمسي . فاليونوسفير « ملتقى البحوث » بحسب تعبير بورو ، يلعب دوراً أساسياً في الشبكة الكونية في الهاتف اللاسكلي وفي البث التلفزيوني ، وتشكل دراسته فرعاً مهماً في البيوفيزياء . وأعطى ظهور طرق سبر مباشر عن طريق الصواريخ والأقمار الصناعية اهتماماً جديداً لدراسة هذه الطبقة العليا . ودلت أعمال السبر بأن الطبقات المؤينة تمتد بعيداً جداً عن الأرض أكثر مما نتصور : هذا هو أحد أسباب العودة من جديد إلى نظرية الغازات المؤينة التي قدم لها الاختصاصيون في اليونوسفير مساهمات مهمة .

التشويش الفضائي. علم الفلك الاشعاعي ـ هناك طريقة مميّزة في درس اليونوسفير [الكرة الفضائية المؤينة] ، استعملها في فرنسا بورو ، وتقوم على استعمال « الطفيليات الفضائية » كمرسلات طبيعية . وكان وجود هذه الطفيليات معروفاً منذ بداية الكهرباء الاشعاعية ، كعامل مضر . فقد ذكر باركهوسن Barkhausen حوالي 1916 ، وجود « صافرات » تحدثها العواصف الفضائية ، وبدأ اكرسلي Eckersley بدراستها سنة 1928 وتمت العودة إليها بفضل أعمال ستوري Storey سنة 1953 . ومنذ 1894 ، ظنّ لودج Lodge أن البث الاشعاعي الكهربائي يمكن أن يصلنا من الفضاء خارج نطاق الأرض ، خاصة من الشمس (وعمل على اكتشافه) بشكل موجات سنتمترية محتملة . ولم تمكنه ادواته البدائية من التأكد . وفي سنة 1942 فقط استطاع سوثورث Southworth التثبّت من وجود هذا « البثّ» الشمسي . في هذه الأثناء ، ولد علم جديد ، عبر اكتشاف جرى في البداية وبدا غير سظور تقريباً : فقد اكتشف جانسكي Jansky ، وهو يدرس سنة 1932 توزيع الطفيليات الفضائية وفقاً لتوجيه الهوائي ، بثاً على طول الموجة 14,60 م ، آتياً من « درب التبانة » . هذا العلم الجديد هو علم الفلك الاشعاعي (أنظر الفصل 4 من القسم الثالث) المتفرع من الكهرباء الاشعاعية وقد أخذ أدوات الرصد من التقنية الاشعاعية الكهربائية التي أعطت علم الكهربائية الاشعاعية بعض الانجازات الأكثر جمالاً . وقد استفاد العلم الجديد إلى حد بعيد

من سلم جديد في سلالم الكهرباء الاشعاعية : هو سلم التواتر العالي .

IV ـ التواتر العالي

بمقدار ما تطورت اللاسلكية والبث الاشعاعي ، كان لا بد من اللجوء إلى تواترات أكثر فأكثر علواً تجنباً لشغب الاتصالات الكهربائية الاشعاعية المستعملة في الخدمة منذ زمن ، وللحصول على أطياف تواترات أكثر اتساعاً . وجعلت الامكانات الجديدة التي قدمتها انابيب الفراغ لاحداث موجات لولبية ذات تواتر عال وقوة عظيمة ، وكذلك الاطواق الجديدة المخترعة من قبل المهندسين ، والمعرفة الأفضل بشروط انتشار الموجات ، وبدور اليونوسفير [كل ذلك جعل] من الممكن استخدام الموجات القصيرة جداً ، وأطوال الموجات المنتقلة من بضعة هكتومترات إلى بعض الامتار .

وفي السباق نحو التواترات العالية أمكن التوصل إلى نقطة أصبح فيها طول الموجة من نفس مستوى عناصر الدارات المستعملة . وامتدت حدود مجال التواتر العالي من أطوال موجات مقدارها بعض الدسيمترات نحو السلم المليمتري ، حيث اقتربت سمات الموجات من خصائص الضوء .

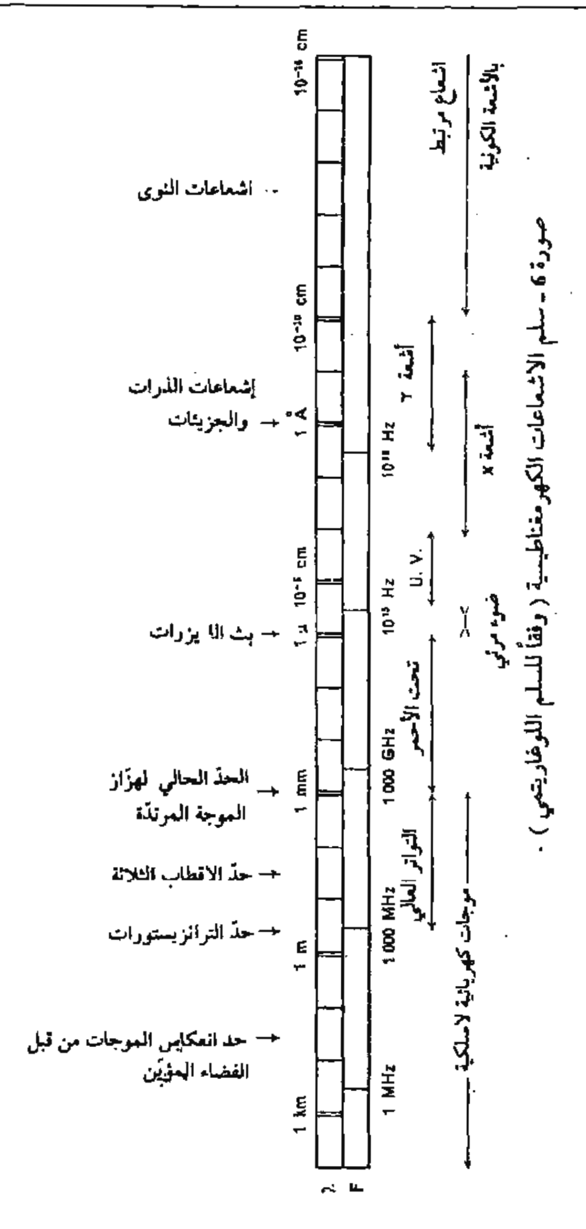
الابصار الهرتزي قبل سنة 1900 ـ منذ أواخر القرن 19 وعلى أثر تجارب هـ . هرتز التي نشرت سنة 1887 جهدَ السابقون في وضع علم إبصار حول الموجات الهرتزية . وهدفت تجارب هرتز ولاحقيه بصورة أساسية إلى التثبيت في تنبؤات مكسويل النظرية ، وإلى تبيين التشابه في الطبيعة بين الموجات الكهرمغناطيسية والضوء . وكانت هذه التجارب في عمومها مأخوذة عن تجارب علم الإبصار وتناولت انعكاس الموجات ، والانكسار والاستقطاب والتداخل .

وكانت التجارب التي جرت في تلك الحقبة ذات علاقة بدراسة الخازنات الكهربائية .

ودرس هرتز بنفسه ثبوتية الخازن الكهربائي للمواد مثل الصمغ والأمتيست (حجر كريم) والبرمنغنات البوتاسية ، والغاز كربونيك ، أي الفحمي . وأجرى برانلي Branly بحوثاً حول اتصالات الموجات الهرتزية عبر السوائل مثل الكحول والبترول . وفي سنة 1894 درس بيركيلاند Birkeland الخازنات التركيبية المكونة من مسحوق الحديد الغارق في البارافين ، وهي خازنات تذكرنا بمستخرجات الحديد الحديثة (فّريت) .

وكل هذه الأعمال قد جرت بموجات قصيرة جداً واشتغل هرتز سنة 1888 على موجة طولها 66 سنتيمتراً بعد أن كان بدأ تجاربه على موجة طولها ثلاثة أمتار . ودرس ريغي Righi الموجات ذات الأطوال المتراوحة بين 10 سنتيمترات و 3 سنتيمترات والمستعملة اليوم من أجل الرادار . ونشر سنة 1897 كتاباً بعنوان « اوتيكادلا أوميازيوني التريشا » وكان هذا الكتاب أول بحث في بصريات التوتر العالي . وأجرى ج . ش . بوز Bose في كلكوتا تجارب على موجة طولها 5 مليمتر .

وهذه الموجات المحدثة بواسطة طوق متأرجح مزود بمفجر بشكل سلاسل من الموجات الملطفة ، لم تكن تتمتع بكفاية من القوة ولا بليونة في الاستعمال ، حتى تستخدم في التلغرافيا أو الاتصال اللاسلكي . وكانت أعمال هؤلاء الطليعيين ذات امتدادات مباشرة في العقود اللاحقة . من ذلك أن آ . نيكولس وج . تير Tear نجحا سنة 1923 في احداث اشعاع طول موجته 0,22



صورة 6 ـ سلم الاشعاعات الكهرمغناطيسية (وفقاً للسلم اللوغاريتمي) .

ملم . وفي السنة التالية توصل آ . غلاغولوا ـ اركاديوا Glagolewa-Arkadiewa إلى الموجة ذات الطول البالغ 28 ميكرون وذلك حين أحدث تموجات كهربائية في الزيت اللزج المحتوي على حثالة النحاس . ولدراسة هذه الموجات استخدم نيكولس وتير جهازاً مستوحى من البصريات : وبصورة خاصة وضعا مقياساً لقياس تواترها .

وبين السنتين 1900 و1935 جرت هذه الدراسات على هامش التيار الكبير الذي أصاب تطور الكهرباء الاشعاعية . وفي سنة 1935 فقط استعادت التواترات العالية أهميتها وذلك باكتشاف أطواق جديدة ، ومرشدات الموجات ، وأنابيب مولّدة خاصّة .

مرشدات الموجات ـ إن اكتشاف خصائص مرشدات الموجات له جذور في أواخر القرن التاسع عشر . ولكي يحتمي المجربون من الاشعاعات غير المرغوب فيها وضعوا المفجر الذي كانوا يستخدمونه كمصدر ضمن أنبوب معدني فارغ : ولم يكن من العجيب أن تنتشر فيه الموجات الكهربائية الاشعاعية كما ينتشر الضوء . إلا أن لودج Lodge لاحظ وجود خصوصيات انتشارية قدم لورد رايلي تفسيراً موجزاً لها سنة 1897 . ورغم أن مسألة انتشار الموجات داخل الأنابيب قد لفتت انتباه العلماء المشهورين أمثال ج . ج . طومسون ولارمور ودرود ، كان لا بد من انتظار سنة 1936 حتى يقدم ج . كارسون وس . ميد Meade وس . شلكونوف Schelkunoff وج . ساوثورث نظرية كاملة عن مرشدات الموجات المعدنية المصنوعة من المعدن الفارغ ، وعن المرشدات المؤلّفة من اسطوانات عازلة . وفي ذات السنة بين ل . بريلوين بأنّ الانتشار داخل المرشدات ذات القطع المستطيل يمكن أن يفسر بتداخل الموجات المسطحة التي تنعكس على الجوانب .

وتتطلب هذه العملية أن تكون الاوجه المتقابلة التي بينها تتم الانعكاسات المتتالية وفقاً للأساليب الابسط ، مفصولة بأكثر من نصف طول موجة . إن التواتر المستعمل يجب أن يكون أعلى من بعض « التواتر القطعي » الذي يسقط ضمن مدرج التواترات العالية بالنسبة إلى مرشدات ذات أبعاد اعتراضية من عيار بعض السنتيمترات أو المليمترات . إن أساليب الانتشار داخل المرشدات الفارغة يمكن أن توصف من خلال تراكم الموجات المسطحة المائلة بالنسبة إلى محور المرشد : وينتج عن ذلك الوجود الدائم لمكونٍ لحقل كهربائي أو مغناطيسي باتجاه الانتشار . وبالعكس إن الموجات التي تنتشر عادة فوق الخطوط ذات الموصلين ، تجد حقلها العامودي باتجاه الانتشار : ونرمز إليها بعبارة « الموجات المعترضة الكهرمغناطيسية » (الموجات TEM) ؛ وهي تنتشر بسرعة الضوء داخل العازل الذي يحيط بالموصلات . وبالعكس من ذلك تسمى الموجات داخل المرشدات الفارغة « معترضات مغناطيسية » (TM) أو معترضات كهربائية (TE) بحسب طبيعتها . ولأنهم كانوا يعرفون الموجات (TEM) لم يستطيعوا فهم سمات مرشدات الموجات في حدود سنة 1900 ودراسة الخطوط الكهربائية كانت متقدمة جداً في ذلك الحين . فقد تم التثبيت من أن الموجات تنتشر فيها بسرعة الضوء في الفراغ أو في العازل الذي يحيط بهذه الخطوط ، مما يميز الموجات (TEM) . إن القرابة بين الانتشار على طول الخطوط والانتشار في الفراغ قد توضحت أيضاً عندما اكتشف هنري بوانكاريه ، إنطلاقاً من معادلات مكسويل ، نظرية الخطوط ، وبصورة خاصة معادلة التلغرافيين اللتين وضعتا سنة 1876 من قبل هيفيسايد عندما انطلق من مفاهيم التيار ومن الضغط ومن قوانين كيرشوف . في هذه الأثناء استمر الحال عموماً في استخدام مفاهيم التيار والضغط ؛ ولكن هذه المفاهيم بدت غير كافية في مجال التوتر العالي . إن النظرية الكهرمغناطيسية الكلاسيكية المرتكزة على معادلات مكسويل وجدت في هذه المعادلات حقلاً جيداً للتطبيق ، في مسائل الأطواق والهوائيات والاشعاع والانحراف . ومكنت هذه النظرية بشكل خاص من دراسة

الأطواق المستعملة داخل الأنابيب من أجل التواتر العالي .

الصمامات الثلاثية (تريود) والكليسترون أو الانبوب المفرغ لتقوية الذبذبات الكهرمغناطيسية ـ بعد أن اكتشفت الخصائص المضخمة التي تميزت بها الانابيب الالكترونية ، عمل العديد من التقنيين على استخدامها لإحداث موجات قصيرة . وفي سنة 1919 نجح بركهوس وكورز Kurz ، رافعين شبك التريود إلى زخم إيجابي بالنسبة إلى زخم الكاتود ، في الحصول على موجة طولها 43 سنتيمتراً . في هذه الأثناء ثبت بصورة تدريجية أن في التريود عيباً خطيراً تجاه التواترات العالية جداً : فعندما يصبح وقت انتقال الالكترونات بين الكاتود والآنود أو القطب السالب والقطب الموجب ، من عيار مساوٍ لحقبة التموجات الواجب احداثها يحدث انقطاعات توقف العمل . وهناك طريقتان لمعالجة هذا التوقف. الطريقة الأولى ، ودرسها الروس ديفياتكوف Deviatkov وغوريڤيتش Gurevich وخوخلوف Khokhlov منذ سنة 1940 تقوم على صنع تريودات مزودة بالكترودات مسطحة أو أسطوانية متقاربة جداً : وهذه الطريقة أدت إلى « التريودات المصابيح » التي أتاحت الوصول إلى موجات من طول خمسة سنتمترات ، والحل الآخر يعود إلى استعمال وقت الانتقال بدلاً من مكافحته : وهذا ما حصل في الكليسترون (وهي الأنابيب المفرغة لتقوية الذبذبات) ، وقد انجزت هذه سنة 1939 في الولايات المتحدة من قبل الأخوين ر . س . ڤاريان Varian من جهة ومن قبل و . هاهن Hahn وج . متكلاف Metclaff من جهة أخرى : داخل الكليسترون يستبدل الطوق المتذبذب الحثاث والقوي ، المقرون بالتريود ، بتجويف نحصل عليه بتسكير طرفي جزء مرشد موجات .

في سنة 1839 بين و . هانسن Hansen من جامعة ستانفورد أن التجويف الكهرمغناطيسي يحتوي على شكل خاص بالرجع ، مثل التجاويف المستعملة في نظرية اشعاع الجسم الأسود . والالكترونات التي تجتاز مثل هذا التجويف تسرَّع أو تكبح بفعل الحقل الكهربائي ذي التواتر العالي : فيقال أن الالكترونات تلتقي فيها ضبطا للسرعة . وتدرك الالكترونات المسرعة على هذا الشكل الالكترونات البطيئة فتشكل جميعاً رزم الكترونات : وهذه الرزم يمكن أن تعطي عن طريق الحث طاقة كهرمغناطيسية ذات تجويف ثانٍ . وإذا كان التيار الالكتروني مرتفعاً بدرجة كافية ، فإن الطاقة الحاصلة في التجويف الثاني تكون أعلى من الطاقة المبذولة في التجويف الأول ، وعندها يعمل الجهاز كمضخم : وقد وصف مبدأ هذا نظرياً من قبل الاخوين آوو . هيل Heil في المانيا منذ 1935 أما مفهوم ضبط سرع الالكترونات فقد درس سنة 1930 من قبل موليـر Moller وسنة 1933 من قبل آ . كلافيه Clavier .

ولتحويل الكليسترون المضخم إلى مولد للذبذبات يتوجب كما هو الحال بالنسبة إلى التريود ادخال « تفاعل » ، أي تسريب جزء كاف من الطاقة المحدثة داخل تجويف الخروج ، إلى تجويف الدخول . ويمكن أيضاً استخدام تجويف واحد نمرر فيه مرة ثانية الالكترونات بإجبارها على الرجوع أمام الكترود محمل بزخم سلبي بالنسبة إلى الكاتود : ونحصل عندها على الكليسترون العاكس الذي طور في بريطانيا سنة 1940 تحت إشراف سوتون Sutton. وكان تشغيل الكليسترون العاكس سهلاً فأصبح المصدر الأكثر شيوعاً لانتاج الطاقات الصغيرة ذات التواترات العالية .

الأنابيب ذات الموجة المتصاعدة ـ في أواخر الحرب العالمية الثانية ظهر جهاز آخر يتيح تحويل الطاقة الحركية في ضمة من الالكترونات إلى طاقة كهرمغناطيسية ، إنه الأنبوب ذو الموجة المتصاعدة . ويقوم مبدؤه على الحصول على تبادل مستمرّ في الطاقة بين الكترونات وحقل مغناطيسي كهربائي فتنقل بانتظام . وذكر هذا الجهاز في براءات الاختراع التي سجلها كل من آ . هاف Haeff سنة 1933 ودي كلافيه Clavier وروستاش Rostas سنة 1937 ونفذ بعد سنة 1943 من قبل ر . كوفنير Kompfner الذي حقق أوّل أنبوب ذي موجة متصاعدة . وضع نظرية هذا الانبوب سنة 1947 ج . ر . بيرس Pierce في الولايات المتحدة ، وبصورة مستقلة من قبل ج . بيرنيه Bernier وب . لابوستول Lapostolle في فرنسا ، لقد كانت شروط التزامن صعبة التحصيل . ففي الهواء تنتشر الذبذبات الكهرمغناطيسية بسرعة الضوء ، وفي المرشدات ذات الجوانب الملساء تكون سرعتها المرحلية فوق c : وهي تبلغ ، في الانابيب المألوفة ، من عيار c/10 حتى c . وقد حلّت الصعوبة عموماً بترشيد الموجات بخط لولبي : وعلى طول هذا اللولب ، تكون السرعة قريبة من c ولكنها إذا نظر إليها من المحور ، تبدو أدنى من ذلك بكثير. وعندما يستقر التواقت ، فمطلق الكترون يمكن أن يكبح من قبل حقل معيق ، على طول مساره : هذا الالكترون يعطي للحقل طاقة حركية . صحيح أن هناك أيضاً الكترونات مُسرَّعة ؛ ولكن عمليات التسريع والكبح تنتهي إلى تجميع الالكترونات ضمن رزم تتشكل في مناطق حيث تكبحها موجة تلتقط الطاقة ، وسطياً . إن الميزة الاساسية في الانبوب ذي الموجة المتصاعدة ، هي قابليته لتضخيم الموجات فوق شريط عريض من التواترات .

وككل مضخم يمكن تحويل انبوب الموجة التصاعدية إلى مؤرجح بتزويده « بتفاعل إيجابي » يُعطى له وفقاً لطريقة خاصّة . وباستعمال خيط تكون ، على طوله ، سرعة المجموعة ، وبالتالي اتجاه انتشار الطاقة ، باتجاه معاكس لسرعة المرحلة ، نحقق « مؤرجحاً ذا موجة معاكسة » : وقدم مبدأها ر . كوفنر Kompfner سنة 1952 ، إلا أن الفرنسي ب . إبستين (B. Epsztein) كان قد سبق وصنع مثل هذا الانبوب تحت اسم « كارسينوترون (Carcinotron) » . والواقعة ، الغريبة نوعاً ما لأول وهلة أن الطاقة والمرحلة تنتشران باتجاه معاكس ، يميّز بعض الخطوط ذات البنية الدورية : إن ل . بريلوين حين درس عموماً انتشار الموجات في أوساط دورية (الشبكات البلورية ، الدارات الدورية ، المصافي الكهربائية) قد بيّن أن الخصوصيات المتعددة تفسر بدورية الوسط وهي مستقلة عن طبيعة الموجات .

وقد افترضنا بصورة ضمنية أنّ الالكترونات تتحرك داخل فضاء متعادل الزخم من الناحية الكهربائية الثبوتية . ومع ذلك توجد عائلة أخرى من الأنابيب تكون فيها الالكترونات ـ في حال غياب أي حقل ذي تواتر عال ـ موجهة بحقل كهربائي ثبوتي وبحقل مغناطيسي متعامدين فيما بينهما ، وكذلك فيما خص حركة الالكترونات ، بحيث تتوازن القوتان الكهربائية والمغناطيسية . وتحت تأثير الحقل الكهربائي ـ المغناطيسي المتزامن ، تحتفظ الالكترونات بطاقتها الحركية ، وهي تنزلق نحو المناطق ذات الزخم الكهربائي القوي : وعندها تتحول الطاقة الكامنة في الالكترونات إلى طاقة كهربائية مغناطيسية ، ونستطيع القول أن هذه العملية ذات منتوج طاقوي جيد

جداً . إن أسرة « الأنابيب ذات الحقول المتعامدة » المتضمنة مضخمات ذات موجة تصاعدية والمحتوية على كارسينترونات (هزّازات الموجة المرتدّة) قد درست بشكل خاص من قبل المجموعة الفرنسية التابعة لغينارد Guénard ودوهلر Dohler . وكان المغنطرون (أنبوب فراغي مولد للتيارات ذات التواتر العالي جداً) قد اكتشف قبل ذلك بكثير ولكنه دخل ضمن الدراسة .

المغنطرون (أو الأنبوب الفراغي المولد للتواتر العالي جداً) ـ إن منشأ المغنطرون قديم : فهو يعود إلى ثنائي القطبين (ديود) الذي حققه هولHull سنة 1921 . وفيه يدخل التيار بين الكاتود الاسطواني والأنود الثنائي المحور ، وهو محكوم بحقل مغناطيسي قابل للتنظيم ومواز للمحور . وتحت تأثير الحقل المغناطيسي ، تتبع الالكترونات مساراً مقعراً بدلاً من أن تتجه بخط مستقيم نحو الأنود . فإذا كان الحقل قوياً كفاية ، فإن أي الكترون لا يصل إلى الأنود ، وعندها تتكون غيمة الكترونية تدور حول الكاتود . وفي سنة 1924 حصل التشيكي آ . زارك Zarek على ذبذبات بواسطة ديود هول ؛ واكتشف هابان Haban نموذجاً آخر من الذبذبات في مغنطرون كان انوده مشقوقاً إلى قسمين . وقد تم التخلي عن هذه الاساليب ، ويستعمل اليوم « المغنطرون ذو الموجة المتصاعدة » ، الذي فُسّر مبدؤه من قبل ك . بوستوموس Posthumus سنة 1935 .

ويشكل الأنود ذو الشقوق المتعددة خطاً دورياً منغلقاً على ذاته وقادراً على توجيه موجة كهرمغناطيسية تتزامن مع الموجة الالكترونية التي تدور حول الكاتود . ووجد هذا الانبوب شكله النهائي بعد استحداث جيوب مرجّعة في شقوق الانود ، وهي فكرة وصفها الأميركي آ . ساموبل Samuel سنة 1936 واستغلها الانكليزيان بوت Boot ورندال Randal سنة 1939 والروسيان ن . الكسيريف Alekserev ود . ماليروف Malearov سنة 1940 . إن نظرية المغنطرون ذي الجيوب المتعددة صعبة للغاية : وقد وضعها ل . بريلوين وو . بونيمان Buneman ود . هارتري Hartee وج . سلاتر Slater وي . ستونر Stoner وأصبح هذا الأنبوب المصدر العملي للقوى الشديدة ذات الدفع المختصر ووجد تطبيقه الرئيسي في باثات الرادار .

اختراع الرادار ـ رغم أن اختراع الرادار يرتبط بتاريخ التقنيات فإن تطويره لا ينفصل عن تطور التواترات العالية جداً التي حفزت دراسته .

في المنطلق لم ترتبط فكرة الرادار ، الذي سمي بهذا الاسم نقلاً عن الحروف الأولى من الكلمات الإنكليزية في العبارة التالية : « Radio detection and ranging » باستخدام التواترات العالية . فمنذ بداية القرن العشرين وجدت صيغة مبدأ التقاط الأشياء بواسطة الموجات الهرتزية . ولكن حالة التقنية في تلك الحقبة لم تكن تعطي أي حظ للنجاح . وفي حوالي سنة 1928 فقط أمكن الحصول على مرسلات قوية وعلى لاقطات حساسة بما فيه الكفاية ضمن سلسلة الموجات القصيرة ، وفي تلك الحقبة يمكن تثبيت بدايات الالتقاط الكهرمغناطيسي في فرنسا وفي بريطانيا وفي المانيا والولايات المتحدة الاميركية . في فرنسا مثلاً اقترح ب . دايفيد استخدام التداخل بين الموجة المعكوسة على شيء ما متحرك كالطيارة مثلاً ، والموجة المرسلة مباشرة إلى اللاقط . والموجة المعكوسة المثقلة « بمفعول دوبلر فيزو » « Doppler-Fizeau » تعطي نبضة مع الموجة المباشرة . واثبتت التجارب الجارية بخلال السنوات التالية على موجات عشرية الامتار ومستمرة

هذه الاراء التي طبقت في تحقيق « الحواجز الكهرمغناطيسية » الفرنسية قبل سنة 1940 .

إلا أن الطريقة الأكثر استعمالاً في الرادار تقوم على رصد انعكاس الموجات القصيرة جداً والمبثوثة بشكل نبضات ، وفقاً لتقنية بريت Breit وتوف Turve من أجل سبر الفضاءات العليا (يونوسفير) . وأستخدمت هذه الطريقة سنة 1936 على السفينة الفرنسية النورمندي ، حيث بنى م . بونتي Ponte وهـ . غوتون Gutton « لاقطاً للحواجز » مجهّزاً بمغنطرون بشكل « قفص السنجاب » وهو السابق على المغنطرون ذي الجيوب . إلا أن هذه التقنية قد دُرست بشكل خاص في بريطانيا ، حيث قامت أبحاث سرية منذ سنة 1930 حول استكشاف التيارات ، ونسق فيما بينها روبرت واتسون ـ واط ، فأتاحت صنع جهاز للإنذار مضاد للطيران منذ سنة 1939 : ولعبت سلسلة « الرادار » المراقبة هذه دوراً أساسياً في معركة بريطانيا سنة 1940 .

وأتاحت الموجات السنتيمترية بفضل طواعية توجيهها تحديداً أدقّ للحواجز والعوائق . وأمّن استخدام هذه الموجات تفوق الرادارات الحليفة على التجهيزات الالمانية التي استخدمت موجات أطول حتى نهاية الحرب . كما كرست جهود ضخمة لدراسة هذه الرادارات خاصة في الولايات المتحدة الاميركية . ويمكن أن نحكم على أهمية البحوث التي جرت يومئذ بفضل الثمانية والعشرين مجلداً المخصصة لدراسة خلاصة حضرت من سنة 1924 حتى سنة 1948 من قبل المجموعة المسماة « مجموعة معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا » Massachussets Institute of Technology . وبفضل قوة ودقة التجهيزات التي توفرت للجيش الاميركي ، استطاع هذا الجيش في سنة 1946 التقاط اصداء رادارية فوق القمر مما طبع بداية علم الفلك الراداري . في هذا التاريخ قامت التواترات العالية بخدمة عسكرية باهرة قبل أن تنقلب نحو التطبيقات المدنية مثل : رادارات الملاحة الجوية ، والاشعة الهرتزية والمطيافية الهرتزية .

الحزمات الهرتزية ـ وهناك تطبيق تقني آخر مهم للتواترات العالية ، تطور منذ الحرب العالمية الأخيرة : النقل عن طريق الحزمات الهرتزية مئات الطرق التلفونية أو العديد من الطرق التلفزيونية .

إن الاتصال كالي ـ دوفر Calais-Douvre على الموجة 17 سم والذي أجريت تجربته من قبل كلاڤيه Clavier سنة 1930 هو من أوائل التجارب . وللحصول على بث موجة ، لا بد من وجود هوائي تكون احجامه العديد من الموجات الطويلة . بالنسبة إلى الموجات الديكامترية المستخدمة في الاتصالات التلفونية الاشعاعية بين القارات ، التوجيهية ضعيفة حتى مع هوائيات تبلغ مساحتها حدود الهكتار . أما في الموجات السنتيمترية فإن هذا الشرط يتحقق بسهولة بواسطة هوائيات ذات اتساع بسيط : فالقِمعُ والعاكسات القطعية المكافئة التي استخدمها الطليعيون في القرن التاسع عشر كانت هي الأكثر انتشاراً . واستخدموا أيضاً عدسات مكوّنة أحياناً من شبكات دورية من القضبان أو الصفائح المثقبة ، وكلها تشكل عازلات اصطناعية وبواسطة هذه الوسائل تم الحصول على حزم كهرمغناطيسية متناهية الدقة لعبت دور الكابلات (الخطوط) غير المادية محدودة بين محطات التوصيل . وبفضل توجيهيتها أتاحت الموجات السنتمترية تغطية القارات بموصلات هرتزية يقابل بعضها بعضاً بشكل مباشر .

وبدت الموجات الدسيمترية متروكة لأنّها ذات موجة طويلة لا تسعف في التوجيه وذات تواتر عالٍ جداً يصعب عكسها بواسطة طبقة الفضاء الخارجي (يونوسفير) . ولحسن الحظ لعب الفضاء الأرضي دوراً في انتشارها . وقد لوحظ بخلال الحرب وجود أماد غير طبيعية للبث الراداري ، وعزيت إلى تكون « مجار » في الفضاء حيث تنعكس الموجات بين طبقات ذات مؤشرات انكسارية مختلفة . وبيّن هذا الحدث المقرون بنتائج المحاولات التي جرت قبل وبعد الحرب أن عملية جديدة ، هي الانتشار ضمن الطبقة المحيطة في الأرض (5 كلم فوق سطح الأرض : تروبوسفير) أكثر فعالية من الانكسار حول الأرض ، تزيد مدى البث بموجات مترية أو دسيمترية . في سنة 1905 قام هـ . بوكر Booker وو . غوردون Gordon ، وكذلك ميغاو Megaw بتفسير هذا النمط من الانتشار عن طريق انكسار الموجات فوق الاعوجاجات المتأتية من اضطرابات الفضاء . وبعد ذلك بعدة سنوات اقترح ف . كاستل Castel وفوج Voge وميسم Misme نظرية مرتكزة على الانعكاسات الجزئية التي تحدثها طبقات فضائية حقيقية ذات مؤشرات مختلفة ، وهي نظرية تنسجم مع التدابير التي اتخذها هؤلاء في فرنسا وفي أفريقيا، وتولدت عن هذه الدراسات طبقة جديدة من الرزم الهرتزية ذات المدى الأبعد من الافق ، والمتكيفة بشكل خاص مع احتياجات البلدان السائرة في طريق النمو . إن النجاح الذي تحقق سنة 1961 في تجارب الاتصال بين أميركا وفرنسا وانكلترا عن طريق انعكاس الموجات على القمر الصناعي « ايكو واحد أو الصدى » قد فتح الطريق أمام وضع شبكة عالمية للاتصالات عبر الأقمار الصناعية .

كان ايكو واحد بالوناً قطره ثلاثون متراً من مادة بلاستيكية مطعّمة بالمعدن وكان عاكساً حيادياً ،لعب بالنسبة إلى بث التواترات العالية الدور الذي يلعبه الفضاء بالنسبة إلى الموجات الديكامترية وكانت التجربة ناجحة ، رغم أن الاشارة الملتقطة كانت ضعيفة للغاية ، وتجددت التجربة سنة 1936 إنما بشكل محسن .

وكانت تجربة التلستار أكثر جرأة وأكثر شهرة حيث أتاحت التقاط ـ في فرنسا لأول مرة ، في 11 تموز 1962 ـ بثاً من التفزيون الاميركي . واقتضى الامر وضع محطة حقيقية توصل الرزمة الهرتزية ، فوق القمر الصناعي ؛ وتغذى هذه المحطة بالطاقة من خلال 3600 خلية شمسية ، وقد رسم التلستار الذي كانت حقبة دورانه 157 دقيقة مداراً بيضاوياً وكان ارتفاع سمته 5500 كلم، أما ارتفاع أقرب نقطة في مداره إلى الارض فكان 900 كلم . وكان هذا المدار يتيح الحصول على أربع حقب يومية للرؤية المتبادلة بين المحطة الاميركية في اندوفر Andover (في ولاية مين Maine الأميركية) من جهة ، والمحطة الفرنسية بلومور ـ بودو Pleumeur-Bodou في بريتاني ، والمحطة الإنكليزية غونهيلي Goonhilly من جهة أخرى . وكل من هذه الحقب كانت تدوم من 15 إلى 25 دقيقة . كانت المحطة الفرنسية بلومور ـ بودو مصممة وفقاً لنموذج محطة اندوفر وكانت مجهزة بهوائي كبير وبرق وبعاكس قطعي مكافيء (بارابولي) ، وكانت المحطة محمية بقبة قطرها 64 م . هذا الهوائي الثقيل يجب أن يوجه رأسه نحو القمر الصناعي بدقة تعادل 3/100 من الدرجة مما يوجب آلة حاسبة لتحضير جداول التصويب . وقد مكنت هذه التجهيزات من التقاط إشارات التلفزيون التي بثتها محطة اندوفر منذ أول مرور للرؤية المتبادلة بين فرنسا والولايات المتحدة . وتم

الحصول على نجاحات مماثلة بعد ذلك بقليل من قبل التقنيين الانكليز . واتخذت تدابير طبقت على هذه القناة الجديدة للنقل واستمرت منذ كانون الأول سنة 1962 بواسطة القمر الصناعي رلاي Relay ، واقتضى نظام الاتصال الدائم عبر الاطلسي وجود من ثلاثين إلى خمسين قمراً صناعياً تدور بآن واحد في ذات المدار .

وهناك مشاريع أكثر طموحاً ما تزال قيد الاعداد بواسطة القمر الصناعي سانكوم Syncom رقم واحد الذي أطلق سنة 1963 . ودار باتجاه دوران الارض ومدته 24 ساعة بحيث يبدو وكأنّه واقف جامد بالنسبة إلى المشاهدين الارضيين . و « تزامن » القمر الصناعي ، والذي لا يمكن تحقيقه إلا على ارتفاع 36 ألف كلم ، يتيح إقامة اتصال دائم ، لخدمة منطقة باتساع سطح الارض . ثمّ وُضعت خطط لاستخدام مثل هذا القمر الصناعي من أجل بث الموجات الصوتية أو المتلفزة يلتقطها الجمهور مباشرة .

نذكر أيضاً النجاح في النقل المؤجل لرسالة حفظت في الذاكرة بفضل قمر صناعي (سكور ، 1958) والمشروع الاميركي « وستفورد Westford » الذي يقوم على إقامة حزام حول الأرض ، عاكس ومكون من إبر صغيرة من النحاس الدقيق جداً يرسله قمر صناعي بحيث إذا جمعت هذه الإبر بشكل حلقة قطرها 30 كلم ، تؤمن بث موجات بين محطتين ارضيتين . وقامت أوّل تجربة حققت انطلاقاً من القمر الصناعي ميداس IV في تشرين الأول سنة 1961 وكانت غير ناجحة . وتمت محاولة أخرى سنة 1963 بعد تعديل في نظام توزيع الإبر .

إن النجاحات التي تحققت تدل على أنّنا قد دخلنا عصر الاتصالات بواسطة الأقمار الصناعية ولكن العديد من التجارب ما يزال واجب الاداء لمواجهة الحلول المطروحة والمختلفة .

V ـ الإبصار الالكتروني وتطبيقاته

إن استعمال الالكترونات في الابصار لم يتح فقط أحداث وتضخيم والتحكم في ، والتقاط الموجات الكهربائية اللاسلكية ؛ بل أن العديد من مجالات العلم والتقنية قد استفاد من الاجهزة المرتكزة على استخدام الالكترونات بشكل ريشات رفيعة ، وفقاً لمناهج الابصار الالكتروني .

مكشاف الذبذبة الكاتودي ـ منذ سنة 1898 اقترح ف . براون استخدام الانحراف الكهربائي والمغناطيسي في الاشعة الكاتودية لدراسة التيارات ذات التواتر العالي . وجهازه ذو الالكترونات المستحدثة من مصدر ذي بث ثانوي تأتي لتضرب جانب الحبابة الزجاجية ، حيث تحدث بقعة خضراء ، كان جهازاً بدائياً وقد حسّنه وهنلت Wehnelt فاستبدل مصدر البث الثانوي بكاتود حار وذلك بإدخال الكترود يمكن من ضبط زخم الريشة الالكترونية : وهكذا حقق أوّل « مدفع الكتروني » . وعندما أتاح تقدم المضخمات والمذبذبات الاستخدام الأكمل لجمودية الالكترونات ، جاء مكشاف الذبذبة الكاتودي يكمل مسجلات الذبذبة الذكية الغالفانومترية والتي انجزت حوالي 1900 من قِبَل آ . بلونديل من أجل دراسة الظاهرات السريعة وتم تحسينها باستمرار فأتاحت بصرياً رصد التعرجّات فوق الخمسين ميغاهرتز أو رصد التدفقات من عيار بعض الأجزاء

من الألف من الميكروثانية ؛ وتم التوصل أيضاً في المختبر إلى بناء مكشافات للذبذبات العالية في حدود عشرة آلاف ميغاهرتز (طول الموجة 3 سم) . واعتبرت الانابيب الكاتودية المطورة بشكل مناسب العناصر المركزية في اللاقطات التلفزيونية وفي المؤشرات الرادارية .

زوريكين **Zworykin** واختراع أنابيب التلفزيون ـ في نقل الصور من بعيد لعب الالكترون نفس الدور كما في دراسة الظاهرات السريعة . إن فكرة النقل الكهربائي للصور قديمة جداً . فمنذ سنة 1851 قدم المخترعون أجهزة سُمّيت « تيلي أوتوغراف » [تيلي : عن بعد ؛ أوتو : ذاتي ؛ غراف : أداة تسجيل ، يساوي التسجيل من بعيد] وذلك لنقل الرسالة المكتوبة نقلاً مباشراً .

وعندما اكتشف أنبوب الأشعة الكاتودية ، والخلية الكهرضوئية ، جرى البحث في استخدامهما لنقل الصور . فاستخدم الانبوب الكاتودي ليحول إلى الالتقاط الاشارة الكهربائية الصورية ، واقترح ذلك بوريس روزن Rosing سنة 1907 . وكانت المسألة المعاكسة أكثر صعوبة : فالخلية الكهرضوئية التي عليها يسقط مجمل الصورة لا تعطي إلا تياراً مستمراً مرهوناً بالإضاءة الوسطى . وكان لا بد من تحليل نقطة نقطة : وهذا ما تحقق في بادىء الأمر بوضع ـ أمام الخلية ـ محللاً ميكانيكياً هو قرص نيكو Nipkow .

في هذه الأثناء ومنذ 1908 اقترح آ . كامبل Campbell وآ . سوينتن Swinton جهازاً لاكتشاف الصورة بحزمة من الالكترونات وهذا الأمر لم يتحقق بشكل مرضٍ إلا في سنة 1933 في ايكونوسكوب ف . ك . زوريكين [ايكونوسكوب : آلة تصوير في التلفزة أو محلل للصورة] .

وبدأ زوريكين دراسة طريقة تلفزيونية الكترونية سنة 1910 تحت إدارة ب . روزن في معهد التكنولوجيا في سان بطرسبورغ ووصل زوريكين إلى الولايات المتحدة سنة 1919 وفي سنة 1923 قدم جهازاً تلفزيونياً الكترونياً خالصاً . وبعد 1930 وفي مختبرات شركة ر . س . آ . R.C.A وضع المحلّل وقدمه سنة 1932 وأدت البحوث المستكملة في بريطانيا من قبل شركة E.M.I بعد ذلك بقليل إلى تحقيق أنبوب يلتقط المشاهد ومبدأ عمله مختلف قليلاً : واسم الأنبوب هو ايميترون . في هذه الأنابيب تحدث الصورة فوق « فسيفساء » مكوّنة من مئات الألوف من الحبيبات المنفصلة بعضها عن بعض ، فتشكل بالتالي عدداً من الخلايا الكهرضوئية الأولية .

وتستكشف ريشة الكترونية على التوالي كل نقطة في الفسيفساء وتعطي إشارة كهربائية تستخدم لنقل الصورة . ويشكل البث الثانوي للفسيفساء في الايكونوسكوب أو المحلّل عائقاً : ومن أجل التخلص من هذا العائق وضع م . روز Rose وم . يامس (1939) الاورتيكون حيث يتم المسح بواسطة الكترونات بطيئة .

فكر ف . ك . زوريكين بشكل خاص بوسيلة لزيادة مدى الرؤية البشرية ، في سنة 1934 عرف الايكونوسكوب « بأنه نسخة حديثة من العين الكهربائية » واقترح وضع جهاز رؤية فوق صاروخ من أجل الذهاب لمشاهدة المناطق التي لا يمكن الوصول إليها .

وبوسيلة مماثلة نجح العلماء السوفيات سنة 1961 في تصوير الوجه المغطّى من القمر . ويدل

هذا التطبيق العملي ، كما تدل إعادة نقل العمليات الجراحية ، على أهمية التلفزيون كوسيلة بحث علمي .

مكثر الصور والمضخمات البراقة ـ إن عمل الخلايا ذات التكثير الالكتروني يستند على سمة موجودة في بعض المواد وهي بث العديد من الالكترونات الثانوية ، تحت ضغط الكترون واحد أولي مسرَّع بتأثير من عدة مئات من الفولتات [الفولت هو وحدة القوة المحركة الكهربئية] . إن نحن اسقطنا الالكترونات الحاصلة على هذا الشكل على هدف جديد ذي بث ثانوي ، نحصل على تكثير جديد . وتحقيق خلية ذات عدة طبقات يقتضي توجيهاً دقيقاً للالكترونات بين هدف وآخر .

هذا ما حققه كل من زوريكين وهـ . مورتون ول . مالتر بواسطة حقلين كهربائي ومغناطيسي متقاطعين داخل أنبوب وصفوه سنة 1936 . في سنة 1939 قدم زوريكين وج . رايشمان Rajchman « مكثراً كهربائياً ثبوتياً للالكترونات » يعطي تضخيماً للتيار المبثوث من قبل آلة تصوير كاتودية . وفي الوقت الحاضر أمكن التوصل إلى مضاعفة التيار الحاصل بمفعول التصوير الكهربائي إلى أكثر من عشرة ملايين ، مما أتاح صنع لاقطات ضوئية حساسة جداً بواسطة مضاعف الصور .

وفي مضاعفات الصور تكون الاشارة الخارجية إشارة كهربائية وبالعكس من ذلك تتلقى المضخمات ذات الاشراق الضوء وتعطي صورة ضوئية . في الأنبوب الأول الذي وضعه هـ . هولست Holst سنة 1934 يتم وضع الصورة الضوئية على فوتو كاتود أي صورة سلبية ؛ والالكترونات المبثوثة تضرب ستارة مشعة ، بعد تسريع الالكترونات عن طريق الكهرباء الثابتة : ضمن هذه الشروط تحدث الالكترونات في الستارة صورة ضوئية أكثر بريقاً من الصور المستقبلة . وقد حسّن زوريكين ومورتون وأ . ر . رامبرغ Ramberg سنة 1936 بشكل كبير هذا الجهاز بأن ادخلوا عليه «إبصاراً الكترونياً » حقاً أتاح احداث صورة لكل نقطة في الصورة الكاتودية فوق الستارة أو الشاشة . وأتاحت تجهيزات مماثلة أدخلت إلى داخل أنابيب الرؤية التلفزيونية ، تحويل الايكونوسكوب والاورتيكون إلى أنابيب أكثر حساسية هي السوبر ايكونوسكوب (الصورة الايكونوسكوبية) ، وسوبر ـ اورتيكون (الصورة الاورتيكونية) .

وأدخلت تعديلات كبيرة على المضخمات الاشراقية تحت اسم « القلابات » تحت الحمراء ، وذلك لتحويل صورة تحدثها الاشعة تحت الحمراء إلى صورة مرئية . وتتيح هذه القلابات بالتالي اكتشاف أشياء ترسل أشعة تحت حمراء ورصد الأشياء المضاءة بمصباح ذي أشعة تحت حمراء ، في الليل أو في حالات الضباب . إن المضخمات البراقة استخدمت أيضاً منذ 1950 ، إضافة إلى استعمالاتها العسكرية ، في فحص الصور الراديوسكوبية [أي المفحوصة بأشعة أكس] .

وأخيراً يمكن إقران المضخمات البرّاقة بالتلسكوب Téléscope . في هذا الجهاز لا تكون الصورة النهائية حاصلة فوق شاشة مشعّة : فالالكترونات المبثوثة بالمفعول الكهرضوئي تطبع صفيحة فوتوغرافية خاصة ، وفقاً لأسلوب فوتوغرافي الكتروني درسه آ . لاليمان Lallemand منذ

سنة 1936 . ويشكل هذا الجهاز المتطوّر باستمرار ، اللاقط المثالي للفوتونات تقريباً ؛ فإذا قورن بأدوات الرصد الفلكية مثل التلسكوب والناظور والمطياف ، أتاح تحقيق مكسب يفوق مئة في المئة الطرق الفوتوغرافية الكلاسيكية .

أنابيب التذكير ـ إن الانابيب السابقة تشكل جزءاً من العائلة الكبيرة عائلة الانابيب ذات الصور : فالبعض منها يتلقّى الصورة الضوئية ويعطي صورة ضوئية ، مثل مضخمات الاشراق ؛ وأخرى مثل الأنابيب الكاشفة للذبذبة (اوسيوسكوب) تترجم إشارة كهربائية إلى صورة ضوئية ؛ وأخيراً هناك أنابيب تحول الصورة الضوئية إلى إشارة كهربائية مثل أنابيب التقاط الصور التلفزيونية . وهناك نمطٌ رابع يتلقى الإشارة الكهربائية فيعطي إشارة كهربائية أخرى : وفي هذه الحالة لا تتوجد الصورة إلا بشكل توزيع للشحنات الكهربائية فوق شاشة .

إن هذه الأنابيب مفيدة عندما تكون الشاشة مزودة بذاكرة مما يتيح حفظ الاشارة الكهربائية المستقبلية لفترة من الوقت . ولهذا تتكون الشاشة من عدد كبير من الخلايا الاولية التي تشكل فسيفساء الايكونوسكوب أو محلل الصور : وكل خلية تشكل مكثفاً أولياً تكون شحنته تابعة للإشارة الكهربائية التي يجب حفظها بالذاكرة . إن أمثال هذه الانابيب التي طرحها وحقّقها في سنة 1947 آ . هايف Haeff من جهة وآ . جانسين Jensen وج . سميث Smith وم . مسنير Mesner ، ول . فلوري Flory من جهة أخرى ، تقبل التطبيق في الحاسبات الالكترونية . وقد تم أيضاً إدخال ذاكرة كهربائية ثبوتية في أنابيب كاشفات الذبذبة واللاقطات الرادارية . ويتضمن راصد الصور في مبدئه بالذات ذاكرة : وهذا ما يعطيه حساسية كبيرة تفوق حساسية أي أنبوب آخر للرؤية ، اخترعه فرانسويرث Fransworth سنة 1934 .

تطورّ الابصار الالكتروني ـ لقد استعملنا عبارة « ابصار الكتروني » في مضخمات الإشراق للدلالة على جهاز يجمع في بؤرة أو في نقطة من الشاشة الالكترونات المبثوثة بفضل نفس النقطة من الكاتود وبالتالي يحقق تطابقاً بين صورة وشيء كما هو الحال في الابصار الضوئي .

إن المسارات الالكترونية قد تحصل بواسطة معادلات في الميكانيك الكلاسيكي مطبقاً على الالكترونات من قبل ج . ج . طومسون منذ سنة 1881 . إن التشابه بين ديناميك أي حركية النقطة المادية والابصار الجيومتري ، الملحوظ من قبل هاملتون سنة 1827 بارزٌ وواضح ، بشكل خاص بالنسبة إلى حركة الالكترونات في الكهرباء الثابتة حيث يكون الزخم الكهربائي معادلاً لمربّع إشارة الانكسار . وهذه المماثلة التي لعبت دوراً أساسياً في ولادة الميكانيك التموّجي عند ل . دي بروغلي L. de Broglie ، استخدمت كدليل من أجل تحقيق تجارب مماثلة لتجارب الابصار الضوئي بواسطة الالكترونات .

وأول عمل حول العدسات الالكترونية هو عمل هـ . بوش Bush الذي بيّن في سنة 1926-1927 إن مفعول الحقل المغناطيسي الدوراني على مسارات الالكترونات يشبه مفعول عدسة زجاجية على الاشعة الضوئية . وفي سنة 1931-1932 بيّن دافيسون Davisson وكاليبك Calbick من جهة وبروش Bruche وجوهانسون Johannson من جهة أخرى أنه بالإمكان أيضاً صنع عدسات

الكترونية بواسطة حقول كهربائية ثابتة . وكانت هذه الدراسات منطلق تطوّر نوعين من العدسات المستعملة خاصة في الميكروسكوب الالكتروني . وتناولت الأعمال اللاحقة صنع ووضع رسيمات متنوعة كما تناولت المسائل المطروحة نتيجة النقص المماثل للنقص الموجود في معدات الابصار الضوئية .

ودراسة العدسات الالكترونية تقتضي معرفة دقيقة لخرائط الحقول الكهربائية والمغناطيسية . وهي تطرح مسألة حل معادلة لا بلاس التي شُرع بدراستها في القرن التاسع عشر وتُبعت في القرن العشرين حيث استفادت من طرق جديدة ، ويتوجب بشكل خاص الإشارة ـ في الابصار الالكتروني ـ إلى أهمية طرق المشابهة الكهربائية التي يمكن العثور على فكرتها في عمل قام به كيرشهوف سنة 1845 ، وهي استعمال وعاء تسجيل الدفق ، الذي طبق على مسائل الحقل المغناطيسي والكهرباء الثبوتية سنة 1905 من قبل سموت Smoot والتي طورت في فرنسا بشكل خاص ابتداء من سنة 1931 بتشجيع من ج . بيريس Perès ول . ملافار Malavard ؛ وطبقت على ما يشابهها من شبكات المقاومة بفضل ليبمان Liebmann سنة 1950 .

من أهم هذه التطبيقات العملية لهذه الطرق الابصارية الالكترونية دراسة المدافع الالكترونية ذات أنابيب الضغط المرتفع ، والكليسترونات وأنابيب الموجات المتصاعدة . وتقوم المسألة أساساً على تركيز حزمة الكترونية ثقيلة جداً ، ثم جعلها تحتفظ ، على مسارٍ طويل ، بالشكل المطلوب ، الاسطواني مثلاً . وقدم العديد من المؤلفين مساهمتهم في « تبشير حِزَمِ الالكترونات » ، وأهمها مسهمة ج . ر . بيرس J.R. Pierce الذي نشر سنة 1949 كتاباً مهماً بهذا المجال ، ويجدر ذكر الاهمية العملية لهذه المسألة : العديد من التقدم المحقق في انتاج وتضخيم التواترات العالية مرتبط بتقدم الإبصار الالكتروني .

الميكروسكوب الالكتروني ـ الآلة التي بدا فيها التماثل مع الابصار الضوئي هو الأكثر بروزاً ، كانت الميكروسكوب الالكتروني . إن أعمال ل . دي بروغلي L. de Broglie أدت إلى اعطاء الموجات المقرونة بالالكترونات طول موجة يرتبط بسرعتها وفقاً للقانون $\lambda = h/mv$: باعتبار h = ثابتة بلانك ، و m الكتلة و v سرعة الالكترونات ؛ وفي حال ضغوطات تسارع تبلغ عشرات الآلاف من الفولتات ، يكون طول الموجة من نفس ضخامة طول أشعة X ، أي ما يقارب مئة ألف مرة أقصر من ضخامة الضوء المرئي . وينتج عن ذلك أن القوة الفاصلة في الميكروسكوب الالكتروني هي أكبر من القوة الفاصلة في الميكروسكوب الابصاري (الفصل 5 من هذا القسم) . في سنة 1931 استعمل م . كنول Knoll وأ . روسكا Ruska عدستهما المغناطيسية للحصول على صور الكترونية مكبّرة . وفي سنة 1934 حصل أ . بروش ومعاونوه على نتيجة مماثلة بواسطة عدسات تستخدم الكهرباء الثابتة . وتم وصف أول نموذج من الميكروسكوب الالكتروني السهل الاستخدام عملياً من قبل كنول وروسكا سنة 1932 . وبعد ذلك أدخلت المختبرات الصناعية الجامعية العديد من التحسينات على الحساب وعلى بناء هذه الأجهزة وتشغيلها . ومن بين الباحثين الذين ساهموا بهذه الأعمال نذكر عشوائياً نوعاً ما : و . غلازير Glaser ، و . كلامبيرر Klemperer ، د . غابور Gabor ، ف . كوسلت Cosslet ، ونذكر في فرنسا ج . دوبوي Dupouy ، ب . غريفيه Grivet

وف . برتين Bertein وش . فرت Fert .

ومنذ سنة 1934 أخذ ل . مارتون Marton باستكمال طرق دراسة الباكتيريا والانسجة العضوية بـواسطة الميكـروسكوب الالكتروني ، وفي سنة 1939 استخـدمـه كـل من ج . كـوش Kaushe وأ . بفانكوش Pfankuch وأ . روسكا Ruska لدراسة الفيروسات وفي سنة 1940 استطاع م . فون أردين Von Ardenne الحصول على صور مضخمة للخلايا الكبيرة المعـزولة مثـل خلايـا خضاب الـدم . وفي سنة 1941 استخدم ر . مهل Mehl الميكروسكوب الالكتروني لدراسة مسائل صلابة الفولاذ ، وحصل على صور تـظهر بنيـة البرليت . ودلت هـذه الأعمال على بـداية استعمـال الميكروسكـوب الالكتـروني في البيولـوجيا وفي كيميـاء الخلايـا الميكروبيـة وفي التعدين حيث أصبـح ، في هـذه المجالات آلة بحث ضرورية .

تشتت الالكتـرونات والابصـار الالكتـروني الفيـزيـائي - إن أول تثبّت من نـظريـة ل . دي بـروغلي حول الـطبيعة التـذبذبيـة في الالكترون كـانت في الاكتشاف العملي لتشتت الالكتـرونات بفعل البلورات . في سنة 1927 تمكن ك . دافيسون Davisson ول . جرمر Germer من إثبات هذا التشتت في الولايات المتحدة عند درس انعكاس الالكترونات البطيئة بفعل بلورة من النيكل . وفي سنة 1929 حصل ج . ب . طومسون في بريطانيا على خطوط بيـانية للتشتت تشبـه خطوط أشعـة X وذلك بعد أن أنفذ سهماً من الالكترونات السريعة في طبقة متعددة التبلور .

وفي الوقت الحاضر يستخدم تشتت الالكترونات بالإضافـة إلى تشتت أشعة X في مختبـرات فيزياء الجوامد . ومنذ سنة 1949 وضـع ر . كاستن Castaing وأ . غينيـر Guinier جهازاً من خـلاله يقـوم مسبر الكتـروني مكون من سهم من الالكتـرونات متنـاهي الدقـة باستكشـاف حجم من عيـار ميكرون مكعب فوق سطح بلورة : وتم الحصول على التحليل الكيميائي والتصوير - البلوري لهـذا الحجم الصغيـر من خـلال دراسـة تشتت الالكتـرونـات وإشعـاع X الحـاصـل . ويشكـل تشتت الالكترونات أوّل مجال تطبيق لما يمكن أن يسمى الابصار الالكتروني الفيزيائي مناقضـة لدراسـات المدافع ، والعدسات الالكترونية التي تشكل الابصار الالكتـروني الجيومتـري . وقد درس التشتت بشكل خاص من أجـل تطبيقـه على فيزيـاء الجوامد . وحتى السنوات الأخيـرة قليلة هي الدراسـات المنفذة لتحقيق تجارب أخرى في الابصار الالكتروني الفيزيائي . إلا أن هـ . بورش Boersch كان قد حصل سنة 1940 على هدب فرينل الأولى على أطـراف الشاشـة بواسـطة ضمه من الالكتـرونات وفي وقت أقرب لاحظ باحثون عديدون ظاهرات تداخـل وفي سنة 1952 بين ل . مـارتون المكسب الـذي يمكن الحصول عليـه من قيـامـ التـداخـل الالكتـروني . وقـد تم الحصـول على المعـادل الالكتروني للموشور المزدوج المنسوب إلى فرينل على يد ج . مولنستيد Mollenstedt وهـ . دوكر Duker سنـة 1954 . وقام مختبـر الابصار الالكتـروني التابـع للمجلس الـوطني للبحث العلمي في تـولوز بفرنسـا تحت إدارة ج . دوبـوي وك . فرت بـدراسات منهجيـة حـول الابصـار الالكتـروني الفيزيائي محققـاً بشكل خـاص تجربـة ثقوب يـونغ Young ، وهي تجـربة كـلاسيكية في الابصـار الضوئي ، وتجربة موشور فرينل المزدوج . ويكفي التفكير بدور طرق الابصار الفيـزيائيـة في مجال

المجهرية الضوئية (المجهر التداخلي ومجهر تباين الطور) لتتخيل كم قدمت هذه الطرق للمجهرية الالكترونية .

التطبيقات العملية للابصار الالكتروني في الفيزياء النووية ـ استخدمت الفيزياء النووية أيضاً بعض الاجهزة التي تعود إلى الابصار الالكتروني وأشهر هذه الاجهزة هي مسرعات الجزئيات والسيكلوترونات (السيكلوترون جهاز لتحطيم نواة الذرة) والمسرعات الخاصة (بيتاترون) والمنسقات والسانكروترونات (أيضاً مسرعات) والمسرعات الخطية (أنظر الفصل اللاحق) . وتحقيق هذه الاجهزة خلق مشكلتين في الابصار الالكتروني هما : انتاج ضمة من الجزئيات ثم قذفها في المسرع ؛ ثم توجيه هذه الجزئيات في غرفة التسريع . في هذه الغرفة تتحول الطاقة الكهرمغناطيسية في حقل ذي تواتر مرتفع إلى طاقة حركية في الالكترونات أو في الايونات : إنها العملية المعاكسة للعملية الحاصلة في أنابيب التواترات المرتفعة ؛ مما يدل على القرابة بين المسرع الخطي وبين أنبوب الموجة التصاعدية .

وتشكل المطاييف نمطاً آخر من الاجهزة تستخدم الابصار الالكتروني، ويوجد نمطان من هذه الاجهزة : مطياف الكتلة الذي يتيح فصل الايونات ذات الكتل المختلفة ، والمطياف التسريعي . وقد حقق استون Aston أوّل مطياف كتلي عندما حسّن الجهاز الذي ستعمله ج . ج . طومسون ليقيس علاقة الشحنة بكتلة الالكترونات والايونات . ومن أوائل مقاييس السرعة الطيفية ، المقياس الذي حققه ك . اليس Ellis سنة 1921 لدراسة طيف سرعة الاشعاع β . أما مطياف الكتلة فهو شائع الاستعمال في الفيزياء النووية وفي التحليل الكيميائي للغازات . وهو يكمل مجموعة الأدوات التي يضعها الابصار الالكتروني بتصرف المجربين العاملين في المجالات المتنوعة .

VI ـ من البلاسما أو الغازات المؤينة إلى العازلات الكهربائية

أثناء استغلال خصائص الالكترونات في الفراغ كانت نظرية الالكترونات في المادة تسجل تقدماً جديداً . ورغم أن الأوساط الكهربائية المختلفة ، والغازات المؤينة والالكتروليتات (المنحّلات بالكهرباء) ، والعازلات الكهربائية والموصلات الجامدة ، قد درست جميعاً ، فمن الضروري من أجل توضيح العرض استعراضها تباعاً .

نظرية الغازات المؤينة ـ إن الجهد الضخم الذي بذل في حدود سنة 1900 من أجل استكشاف مجمل الاحداث التي تحدث في الغازات المؤينة ، ترك أيضاً الكثير من المجالات غامضة . فخلال العقود التالية تبعت الدراسات من أجل فهم أفضل « لعمليات أساسية في الالكترونيك الغازي » (وهو عنوان لكتاب وضعه ل . ب . لوب Loeb): التأين ، إعادة الدمج ، تفاعل الايونات ، الالكترونات والجزئيات فيما بينها ومع الجوانب الجامدة التي تحيط بها . وهكذا تمت العودة إلى نظرية الاندماج من جديد بين الايونات الايجابية والسلبية ، وهي نظرية قال بها لانجيفين سنة 1903 تكون متفقة مع التجربة حول التفريغات في الضغط العالي ، لا في الضغوطات المنخفضة . كما أن هذه النظرية التي تحددت حدودها وتوضحت بفضل تونسند ، قد استكملت سنة 1924 من قبل ج ج . طومسون الذي بين دور الاضطراب الحراري بالنسبة إلى الجزئيات كعامل

معيق في إعادة الدمج . ان تكون الايونات السلبية بفضل التصاق الكترون بجزيء قد درس من قبل لوب بخلال السنوات التي تلت سنة 1920 . نذكر أيضاً أهمية ظاهرات التكاثر في التأين عن طريق الصدمة : فقد بين تاونسند أن صدمة الكترون بجزيء قد تولد الكتروناً آخر يمكنه أن يؤيّن جزيئاً آخر وهكذا دواليك . وهذه العملية إذا دمجت استخراج الالكترونات من المعادن التي تشكل الكترودات (أي أقطاب سلبية وإيجابية) تفسر كيف تستمرّ التفريغة الكهربائية عندما نلغي العامل المؤين الذي أطلقها : وعندها تصبح مستقلة . إن تعقيد الظاهرات الأساسية داخل شحنة غازية مفرغة يوجب اللجوء إلى نموذج مبسط لبناء نظرية حول الغازات المؤينة . إن فكرة البلاسما أو الغازات المؤينة التي أدخلها لانغموير شكّلت أساساً لبناء النظرية .

إن النشرات الأولى التي قدمها لانغموير حول التفريغات في الغازات يعود تاريخها إلى سنة 1923 وهي تتناول التيار الملتقط بفضل الكترود إضافي يوضع داخل الشحنة المفرغة . وتلت هذه النشرات دراسات تناولت في سنة 1924 و 1926 بالتفصيل عمل هذه الالكترودات عندما يتغير زخمها الكامل . وبين لانغموير وهـ . موت ـ سميث Mott- smith إنه بالامكان الاستخراج من مميزات التيار ـ الزخمي لهذه الالكترودات الاضافية المسماة بعد ذلك « مسابر لانغموير » ، الثقل النوعي للالكترونات والايونات الداخلة في التفريغة وتوزيع سرعاتها ؛ وعلى العموم أكدّت القياسات فرضية التوزيع المكسويلي للسرعات وأتاحت تحديد درجات الحرارة بالنسبة إلى الالكترونات وإلى الايونات . ورغم أن نظريتها وتشغيلها ما تزال تعتريهما الصعاب فإن مسابر لانغموير تشكل وسيلة مهمة لدراسة الغازات المؤينة بصورة تجريبية .

في سنة 1923 نشر لانغموير دراسة تركيبية حول « التفريغات الكهربائية في الغازات ذات الضغط المنخفض » واستخدم فيها كلمة « بلاسما » أي الغازات المؤينة وهذه الكلمة تعرف اليوم قبولاً حسناً . وقد ميز لانغموير في هذا المجال نوعين من المناطق داخل الشحنات المفرغة: الأولى تسمى بلاسما وتتميز بحيادية كهربائية وسطى ، إذ إن الشحنات من الايونات التي تحيد شحنات الالكترونات ؛ والنوع الآخر، وفيها يلعب الحقل الكهربائي دوراً مهماً، تشكل « غطاءات أو أغشية » تغلف الالكترودات . إنّ هذا التميز الاساسي يقدم كثيراً من الايضاح حول نظرية الغازات المؤينة .

وفي سلسلة من المقالات التي نشرت بالاشتراك مع ل . تونكس L. Tonks سنة 1928 -1929 درس لانغموير التأرجحات في غاز مؤيّن . إن البلاسما تتسرب كما لو كانت وسطاً مطاطاً ، وحصيلة القوى الكهربائية المحدثة بفعل الجزيئات المشحونة تعبر عن ذاتها بقوة استرجاع . وبالتالي تمتلك البلاسما تواتراً خاصاً مع التأرجح أو الذبذبة يسمى « تواتر البلاسما » ، التي تميز السلوك الجماعي في الإلكترونات والايونات : وقيمة هذا التواتر تساوي $F_p = 9\ 000\ \sqrt{n}$ باعتبار F_p بالهرتز و n تمثل عدد الالكترونات بالسنتم المكعب .

وبقي نشاط ايرڤن لانغموير العلمي مرتبطاً بالتطبيقات العملية . وقد رأينا دوره في تحويل سماع لي دي فورست إلى أنبوب فراغ حقيقي . وبالعكس ، وعن قصد قام لانغموير وهول ، وهذا

الأخير من وضع أوّل مغنطرون (أنبوب فارغ يؤين الالكترونات) ، بإدخال الغاز في أنبوب لدراسة « التحكم بالتفريغ بواسطة شبك » وهكذا وضعا النظرية الكاملة لانبوب جديد سمياه تيراترون ، سنة 1929 . وفي تحليل المسائل التي طرحتها عليه التقنية أظهر لانغموير عقلية عملية دقيقة جداً ، وهذا من غير شك ما مكّنه من أن يكون أول باحث أميركي يعمل في مختبر صناعي وينال جائزة نوبل سنة 1932 . ويبدو أن لانغموير توصل إلى الاهتمام بالتفريغ بالغازات وهو يدرس المقومات ذات قوس بخار الزئبق ولاحظ عندئذ تعقيدات الظاهرات أمثال توزيع التفريغات ، والزخم الكهربائي في الكترود مغطس في غاز مؤين . ورغم قدم استعمال المسابر لقياس توزيع الزخم على طول التفريغ ، فإن عملية سير العمل لم تكن مفهومة . وأول ملاحظة توصل إليها لانغموير سنة 1923 حول المسابر كانت مهمة جداً : فقد لاحظ أن التيار المأسور من قبل الكترود إضافي أو مساعد هو من الناحية العملية مستقل عن الزخم المطبق فيه بشرط أن يكون سلبياً بما فيه الكفاية . وشرح لانغموير هذه الواقعة حين لاحظ أن مثل هذا الالكترود يرفض بشدة الكترونات البلاسما ويحيط نفسه « بغلاف » لا يحتوي إلا على إيونات إيجابية وعلى جزئيات حيادية . وتؤسر كل الايونات الايجابية التي تصل إلى هذا الغلاف بالتسرب ، من قبل الالكترود . وعندما يجعل هذا الأخير سلبياً أكثر ، تزداد سماكة الغلاف ، من دون التيار المأسور الذي تتحكم به ثقلية الايونات وسرعتها الوسطى الاضطرابية الحرارية . وتحدث حوادث مماثلة عندما يجعل الالكترود إيجابياً جداً . إن تشكل الأغلفة حول الالكترودات الغاطسة في غاز مؤين شائع وعام : إنه يعزل الالكترودات عن البلاسما ، ويُصعب التحكم بالتيار المنبثق عن تفريغ من خلال شبك .

وتحليل أسر التيار بالمحبس يدل ـ في التفريغات الغازية ـ على أن التغيرات الشديدة في الزخم تحصل بالقرب من الالكترودات وهناك قسم من التفريغات ، العامود الإيجابي الذي لاحظه فراداي ، يميل إلى البقاء على الحياد وسطياً . وبتأثير مزدوج من الاضطراب الحراري ، والتفاعلات الكهرثبوتية تبقى الشحنات الإيجابية والشحنات السلبية ، تبقى بعددٍ متساوٍ ضمن حجم صغير : وهذه الخصوصيات تحدّد ما سماه لانغموير البلاسما . إن نظرية تذبذب البلاسما المكتشف من قبل ف . بيننغ Penning سنة 1926 توضح هذا المفهوم . وإن قضينا على حيادية الوسط ، وذلك بتحريك قسم من الالكترونات ، فإن هذه الالكترونات تنتقل نحو منطقة أقل غنى بالالكترونات ، بفعل قوة تتناسب مع المسافة . ويحدث عندئذ ذبذبات ذات تواتر لا تتعلق إلا بالثقل النوعي الوسطي للالكترونات داخل البلاسما . وقد درس تونكس ولانغموير أيضاً الذبذبات الايونية في البلاسما وبيّنا علاقتها بالموجات السمعية في الوسط الغازي .

وفي دراسة خصائص البلاسما ، يلعب مقدار آخر دوراً مهماً : إنه « طول ديبي » الذي سبق استعماله بعدة سنوات من قبل ديبي في نظرية الالكتروليتات (السوائل المستعملة في عمليات التحليل الكهربائي) .

الالكتروليتات ـ إن نظرية القرابة بين عملية سريان الكهرباء في الغازات المؤينة ، وفي السوائل لم تخف على علماء القرن التاسع عشر . وإدخال مفهوم الحركية (سرعة الايونات في

حقل كهربائي متخذ كوحدة) في الغـازات المؤينة ، قـد استلهم من أعمال هيتـورف Hittorf على السوائل المسماة الكتروليت (1863) ، وكذلك دراسة انتشار الايونات الغـازية اتخـذ أهمية من قبـل نـرنست Nernest بالنسبـة إلى الايونـات في السائـل التحليلي . إلا أنـه يـوجـد فـرق أسـاسي بين الخصائص الكهربائية في هذين الوسطين . ويتأتى هـذا الفرق من أن الالكتـرونات وهي حـاملات رئيسية للتيار في الغـازات المؤينة ، لا تنـوجد حـرة طليقة في المحلولات الإلكتروليتية حيث يكون التيار محمولاً بالأيونات . إن الخصائص الكهـربائيـة لهذه الايـونات وخـاصة عشقهـا ، تلعب دوراً مهماً ، بحيث أن الكهركيمياء ، رغم تعلقها بالكهربـاء وبالكيميـاء تشكل مجمـلاً لا يمكن فصله ؛ فالتفاعلات بين الايونات والجزيئات داخل المذيب تلعب دوراً أساسياً : من ذلك ان قانون ستوكس Stokes بالنسبة إلى الانسياب اللزج ، المطبق على حساب حركية الايونات منذ أعمـال انشتين سنة 1905 حول الحركة البرونية يتيح تحديد شعاع تراكمي للايونات الموجـودة في المحلول ؛ وبمقارنـة شعاع تراكم الايونات بالشعاع المعـطي من قبل دراسـات البلورات على أشعة X ، فقـد أمكن تبين أن غالبية الكاتيونات أو الشاردات السلبية هي « مائية » أي مثبتة فوق جزيء أو عدة جزيئات مائية .

وفي الالكتروليتات تختلف الايونات في أصلها عن أصل الايونات الغازية . فالغاز لا يحتـوي عملياً إلا على جزيئـات حياديـة في حال انعـدام العامـل المؤين أو في حال عـدم وجـود فـر ق في الزخم ، يغذي التفريغة . وبـالعكس ، ووفقاً لأفكـار ارهينيوس Arrhenius (1887) ، التي تشكـل دائمـاً أساس نـظريـة السـوائـل التحليليـة (الالكتروليت) ، تنـوجـد الايـونـات فجـأة في محلول الكتروليتي . وقد نوقشت هذه النظرية حول التفكك التحليلي إذ لا يفهم تماماً كيف لا تتفكك خلية كلورور السوديوم (الملح) مثلاً، في حالة البخار في حين تتفكك عندما تكون مذابة : وقد بررج. ج . طومسون ثم نرنست هذه الظاهرة فعزياها إلى نقص في القوى الكهربائية الثابتة بين الذرات من جراء ثبوتية الخزن في المذيـب . وهذا التفسير رغم توضحه بواسطة الحساب التـرموديناميكي أي الحـراري المتحرك الاحصـائي (فولـر Fowler 1939) يجب أن يعاد النـظر به في ضـوء النظريـات الحديثة حول القوى المتفاعلة ذرياً .

وسنداً لنظرية آرهينيوس يمكن استخراج معامل التفكك من القياسات التوصيليـة . ومن جهة أخرى أن قانون تأثير كتلة التوازنات الحرارية التحركيـة ، المطبق على ظـاهرة تفكـك الجزيئـات ، وإعادة اندماج الايونات يضع علاقة بين معـامل التفكـك وبين تركيـز السائـل التحليلي على الشكل التالي : ثابتة = $\alpha^2 C/(1-\alpha)$ (باعتبار أن α هي معامل التفكك ؛ و C التـركيز) . وهـذه المعادلـة مثبتة تماماً بالنسبة إلى الاذواب المائعة في السوائـل التحليلية الخفيفـة أي تلك التي تعطي الأسيد الأستيك ، توصيلية ضعيفة للماء . وتدخل الحالات الأخرى صعوبات هي في أساس تطور الافكار الكيميائية في القرن العشرين .

ونجد الشذوذات الأكثر بـروزاً في السوائل التحليلية القوية ، التي تعطي توصيلية قوية للماء حتى في حالة الـذوب الخفيف مثل الأسيدكلوريـدريـك أو مثل كلورور السـوديـوم . وتعنى هـذه الاستثنـاءات أيضاً بالعلاقـة بين التركيـز ومعامـل التفكك كمـا تعنى بـالقـوانين التي تحكم الضغط الامتصاصي للمحلولات وبصورة خاصة امتصاص الضوء . وعن طريق قياس امتصـاص الضوء من

قبل محلول نيترات الكروم استطاع بييروم Bjerrum أن يبين سنة 1909 أن هذا الملح كان منفصلاً تماماً عن الماء .

ونظرية المحاليل القوية ، التي وضعها ديبي وهوكل Huckel سنة 1923 ترتكز على فرضية انفصالها الكامل وتعطي هذه النظرية دوراً أساسياً للتفاعلات الكهربائية الثابتة ، التي سبق وأخذها في الاعتبار ميلنر Milner سنة 1912 . ولاحظ ديبي أن الايون الايجابي يجتذب الايونات السلبية ويطرد الايونات الابجابية الأخرى ؛ في حين تميل الحركة البرونية للايونات، بالعكس، إلى تشتيتها عشوائياً . والأواليتان المتناقضتان الجذب الكهربائي الثبوتي والاضطراب الحراري تؤديان إلى تشكل جو أيون سلبي حول أيون إيجابي مثلاً : لا شك أن الوسط يجب أن يبقى حيادياً بوجه عام ، ولكن يمكن اثبات أن كل شيء يجري كما لو أن شحنة متساوية وذات إشارة متعاكسة قد وزعت بشكل متجانس حول الأيون المركزي فوق كرة يسمى شعاعها « طول ديبي » وكما هو الحال في نظرية السوائل التحليلية يبدو هذا المفهوم حول « طول ديبي » أساسياً في نظرية بلاسما الغازات المؤينة : وهذا المفهوم يمثل مدى عظم المسافة التي يمكن الابتعاد بها عن الحيادية الكهربائية ، مع الأخذ في الاعتبار الاضطراب الحراري في الجزيئات المكهربة .

وتتيح نظرية ديبي وهوكل تفسير توصيلية السوائل التحليلية عن طريق تشويه الغيمة الأيونية أثناء حركة الايونات . وهذه الغيمة لا تتواجد في الحال ، وجرى تحديد « وقت استرخاء » من أجل قيام وزوال حالة التوازن المتكونة بفعل أيون مركزي محاط بغمامة : وقد قام ديبي وفالكنهاجن Falkenhagen سنة 1928 بحساب هذه الغمامة . وعندما يتحرك الايون المركزي تحت تأثير الحقل الكهربائي فعلى الغمامة أن تتشكل من جديد في الامام وأن تزول في الوراء . ولما كانت هذه الظاهرة غير آنية فهناك زيادة طفيفة في الشحنات لها نفس الاشارة ، في مقدمة الايون المركزي ، وزيادة خفيفة في الشحنات ذات الاشارة المعاكسة في الوراء . إن هذه الزيادات في الشحنات تعمل على كبح حركة الأيون . وهناك سبب آخر للكبح مرتبط بالالكتروفوريس (أي بطريقة فصل المكونات ، في المحاليل اللزجة . . .) : إن حركة شحنات الغمامة ، تحت تأثير الحقل الكهربائي ، تجر المذيب باتجاه معاكس لاتجاه الايون المركزي . وعند درس عمليات الكبح هذه، نصل إلى قانون تغير التوصيلية بتغير التركيز ، وذلك بالتوافق التام مع التجربة على الاقل في المحاليل القليلة التركيز وضمن نفس الحدود ، وبالارتكاز على نظرية ديبيه وهوكل شرح فالكنهاجن وأ . دارسوا تغيرات لزوجة المحاليل التحليلية مع تغير التركيز .

وتطبق نظرية هوكل وديبي تطبيقاً صعباً على المحاليل المركزة رغم التحسينات التي ادخلت من أجل أخذ تراكم الأيونات بالحساب . وأعطت النظرية التي عرضها بييروم سنة 1926 وأكملها اونساجر نتائج مفيدة، وأدخل بييروم بشكل عشوائي نوعاً واشعاعاً « نقاداً » مرتبطاً « بطول ديبي » . وإن نظرنا إلى كرة ذات شعاع حرج [أي متغير بتغير العوامل الأخرى] ومرتكزة على أيون إيجابي مثلاً ، فيمكن أن نثبت أن صفّتين أو ترتيبين فقط لهما احتمال معقول في الحدوث : أو أنه لا يوجد أيون آخر في هذه الكرة أو أنه يوجد أيون سلبي . وفي الحالة الأخيرة يشكل الايونان « شراكة أو جمعية » يكون مفعولها الكهربائي الثبوتي البعيد المدى شبه معدوم تقريباً . والعلاقة بين

الايونات الحرّة والشراكات يمكن أن تتحدد بقانون مفعول الكتلة وبالحرارة المتحركة الاحصائية . وتستمر الدراسة بتطبيق نظرية ديبي وهوكل على الايونات الحرّة فقط لا على الشراكات . في سنة 1934 برهن فيوس Fuoss على صحة نظرية بيروم مبيناً أن الشعاع الحرج (القابل للتغير) يمكن أن يتغير ضمن حدود واسعة نوعاً ما دون أن يؤثر كثيراً على النتيجة ، وإن هذه النظرية تبدو أكثر ارضاءً من نظرية ديبي من وجهة نظر الميكانيك الاحصائي . وتبدو شراكات بيروم وكأنها أساساً جدياً لدراسة المحاليل التحليلية المركزة .

وتعود الظاهرات المذكورة أعلاه إلى القسم من المحلول التحليلي البعيد عن الالكترودات ، وهو قسم يسلك سلوك الموصل الأوهمي (نسبة إلى أوهم العالم الفيزيائي الذي وضع وحدة قياس المقاومة الكهربائية ورمزهاΩ) . أما الالكترودات فتلعب دوراً أساسياً لأن التيار الكهربائي محمول من قبل الأيونات إلى داخل السائل التحليلي ، في حين تحصل حركات في الالكترونات داخل الطوق المعدني الخارجي : وإلى جوار الالكترودات تحدث التفاعلات بين الالكترودات والايونات وهي تفاعلات تعتبر من قبل النظريات الكيميائية الحديثة كعمليات أكسدة (خسارة الكترون واحد بفعل الايون) أو عملية تحدّ من انتقال الكترون إلى الأيون . ووضع نرنست سنة 1899 ـ وهو يتابع نظرية الحرارة المتحركة من جراء التلامس بين الالكترود والسائل التحليلي ، وهي نظرية وضعها جيبس وهلمهولتز ـ العلاقة أو المعادلة بين فارق زخم التماس ، والضغط الامتصاصي للأيونات داخل المحلول . وإذا اعطينا بالافتراض زخماً مقداره صفر لـ « الالكترود أي قطب عادي من الهدروجين » يستخدم كعنصر استناد ، فيمكن تمييز كل نمط الالكترود ، أو بصورة أولى كل نظام مختزل للأكسدة ، بواسطة زخم معين . وافترض نرنست أن الضغط الامتصاصي يتناسب مع تركيز الايونات في المحلول . ولكن للأسف ، وفي العديد من الحالات تتطابق القيم التجريبية لهذا الزخم سنداً لنظرية نرنست ، مع معامل تفكيكي أكثر من الوحدة بكثير في حالة التركيزات المرتفعة . ولتجنب هذه النتيجة المحالة كان لا بد من افتراض أن الضغط الامتصاصي لا يتمثل بتركيز الايونات بل بقيمة جديدة هو نشاطها (راجع الفصل 7 من هذا القسم) . وهذا المفهوم ، الذي يأخذ في الحساب الطاقة الكهربائية لتفاعلات الايونات ، يتفسر بنظرية ديبي وهوكل ؛ وهو ينتهي إلى استنتاجات تثبتها التجربة فيما يتعلق بذوبانية الاملاح القليلة الذوبان وبالضغط الامتصاصي .

إن نظرية السوائل التحليلية التي أشرنا إلى مظاهرها الفيزيائية لم تبق غريبة عن تطور الافكار في الكيمياء . لقد سبق وأشرنا إلى ظاهرات الاكسدة والاختزال ؛ نذكر أيضاً المفاهيم الجديدة المتعلقة بالاسيدات (الحوامض) والقواعد وهي مفاهيم اقترحها برونستد Bronsted ولوري Lowry سنة 1923 (أنظر الفصل 11 من هذا القسم) . في هذا المجال ، كما هو الحال بالنسبة إلى العازلات الكهربائية تعتبر المعادن والغازات المؤينة ، والسمات الكهربائية غير منفصلة عن الخصائص الأخرى للمادة . وأخيراً تعطي النظريات الحديثة للايونات دوراً أساسياً في التوصيلية الكهربائية في السوائل المذابة ، وفي المحاليل اللزجة الغروية ، وفي الاصماغ التي تتبادل الايونات وحتى في العوازل حيث التوصيلية الضعيفة جداً والتي درست بشكل خاص من قبل يوفي

Ioffé والمدرسة الروسية ، يمكن أن تكون إما ايونية أو الكترونية .

وبالعكس إن الايونات في محلول كهربائي وايونات البلور المؤين ، تحتل ، في الشبكة البلورية ، مواقع ثابتة ، إن نحن استثنينا الحركات ذات المدى الضعيف والتي تنسب إلى الاضطراب الحراري . إلا أن عيوب الشبكة البلورية تتيح توصيلية ايونية ضعيفة . من ذلك أنه في برومور الفضة يمكن أن تحتل الشوارد السلبية Ag^{+} مواقع بين فرجات الشبكة ، تاركة أماكن فراغية في الشبكة الفرعية المتكونة بفعل الشوارد (شائبة فرنكل ، 1926) . في حالات أخرى ، مثل حالة كلورور الصوديوم (ملح) ، هناك أماكن قد تترك شاغرة في الشبكتين الفرعيتين المتكونتين من الايونات (ايون مشحون سلبياً) والكاتيونات (ايون مشحون إيجابياً) (نقص شونكي ، 1935) : وبالتدريج تستطيع الايونات أن تنتقل لتحتل هذه المحلات الفارغة . وأخيراً تتثبت ايونات الفضلات بصورة أضعف من تثبت أيونات الشبكة : وانتشارها بالشبكة بتأثير من الاضطراب الحراري مستعمل في تكنولوجيا الموصلات النصفية . وتحت تأثير الحقل الكهربائي يمكن للايونات المثبتة بشكل ضعيف أن تنتقل داخل الشبكة وتنقل معها تياراً كهربائياً ضعيفاً . وعلى هذا ، في بلورات الملح أو كلورور السوديوم وحدها الايونات Na^{+} تشارك في التيار في درجة الحرارة العادية في حين يكون التيار محمولاً بالايونات Cl^{-} و Na^{+} عند نقطة الذوبان . وفي بلورات أخرى عازلة توجد أيضاً توصيلية ضعيفة جداً ذات منشأ الكتروني .

التقدم في نظرية العازلات الكهربائية ـ فضلاً عن انتقال تيار ضعيف في العوازل يتوجب على نظرية العازلات أو الخازنات الكهربائية أن تفسّر استقطابها أو تكثيفها تحت تأثير حقل كهربائي ، وتغير الثابتة العازلية مع تغير التواتر ودرجة الحرارة ، وكذلك تفسير الكيفية التي تنتشر فيها الموجات الكهربائية المغناطيسية . إن المفاهيم الحديثة حول تركيب المادة تتيح اكمال نظرية لورنتز . العازلات الكهربائية تظهر باشكال متنوعة مثل الغازات والسوائل والجوامد ، وتكثيفها له عدة مصادر . وتحت تأثير حقل كهربائي تستطيع الالكترونات داخل الذرة أن تنتقل بالنسبة إلى النواة : وهذا ما يسمى الاستقطاب الالكتروني . وعندما تجتمع ذرتان أو أكثر لتشكّلا جزيئاًفقد لا تتوزع الالكترونات بشكل تناظري بالنسبة إلى النواة : عندما يمتلك الجزيء عزماً الكترونياً دائماً ؛ فتسمى عندئذٍ « استقطابية » ، وعندها تمتلك المادة استقطاب توجيه . وأخيراً يمكن تغيير توزيع الشحنات داخل المادة بتطبيق حقل كهربائي : إنه الاستقطاب الذري .

ويتضمن العازل الكهربائي جزيئات استقطابية مثل الماء ولا يحتوي على استقطاب عند المستوى المجهري التضخيمي ، في حال غياب حقل كهربائي مطبق عملياً ، لأنّ الاضطراب الحراري يوجه الاقطاب المزدوجة عشوائياً . بنقل نظرية شبه المغناطيسية التي قال بها لانجفين ، حسب ديبيه سنة 1912 العزم الناتج عن وجود حقل كهربائي ثبوتي . إن نظام التوازن الاحصائي الذي يتوافق مع توجه وسط باتجاه الحقل لا يستقر للتو ؛ وكذلك إن نحن أزلنا الحقل الخارجي فإن الحركة البرونية تحطم التوازن : كما هو الحال في نظرية السوائل التحليلية القوية ، وقد بين ديبيه ميزة هذه الظاهرة « بزمن استرخاء » حسبه انطلاقاً من قانون اللزوجية التي قال بها ستوكس ، مفترضاً بأن الاقطاب الثنائية هي كرات تدور في وسط لزج . وهكذا نجد أن الثابتة في العازل

الكهربائي تتغير قليلاً ، حتى تواترات قد تكون في سُلّم التواترات العالية جداً ، وحيث يكون كبح توجه الأقطاب الثنائية أحد أسباب امتصاص الموجات . في هذه المنطقة نلاحظ تقلصاً في الثابتة الكهربائية العازلة عندما يزداد التواتر ، كما لاحظ ذلك آ . كول Cole ودرود Drude سنة 1896 . وقد تم اقتراح نماذج متنوعة من أجل دراسة استقطاب توجه السوائل والجوامد . وهكذا استبدل انكلي Oncley سنة 1938 كرات ديبيه باهليلجات ممّا أدى إلى ستة « أزمنة استرخاء » .

وفي القرن 19 قام كلوزيوس وموسوتي ثم لورنتز بحساب الاستقطاب الذي يسببه تشكل الاقطاب الثنائية بفعل الحقل الكهربائي . إن كل جزيء لا يتلقى مفعول الحقل الخارجي المطبق بل يتلقى مفعول «الحقل الفعلي» السائد ضمن تجويف صغير كروي والمرتكز على هذا التجويف ، مع الاخذ بالاعتبار مفعول الاقطاب الثنائية الاخرى الحائمة ، وتدل هذه الحسابات على وجود ثابت جزيئي « انكساري » أو وجود استقطاب ، بالنسبة إلى مادة معينة مهما كانت حالته الفيزيائية ودرجة حرارته وضغطه . وتتم الدراسة العملية لهذا الثابت الذي لعب دوراً أساسياً في تطور النظرية اليوم على مستوى كبير من تغير المعايير : وهكذا تم قياسه بالنسبة إلى ثاني أوكسيد الكربون تحت ضغط 1700 جوّية (آ . ميشلس Michels ول . كليريكوبر Kleerekoper سنة 1939) . وثبوتية هذا الثابت تتأكّد نوعاً ما بالنسبة إلى الجزيئات غير الاستقطابية ؛ إلا أن الفروقات بين النظرية والتطبيق أدت إلى البحث عن طرق دراسة التفاعلات الكهرثبوتية بين الاقطاب الثنائية ، وهي أكثر وضوحاً من نظرية لورنتز (ج . كيركود Kirkwood وج . ايفون Yvon ، 1936) .

وإن نحن عدنا إلى حساب لورنتز مع الاقطاب الثنائية الدائمة التي قال بها ديبيه لوجدنا ان الوسط يأخذ حتماً استقطاباً عشوائياً تحت درجة حرارة معينة ومحددة : وفي هذا تحدث ظاهرة شبيهة بمرور شبه مغناطيسية في المغناطيسية الحديدية . إن المواد الحديدية الكهربائية موجودة أيضاً ولكنها نادرة جداً . وبالعكس ، وسنداً لنظرية موسوتي وديبيه ، انها ظاهرة شائعة : وهكذا إذا نظرنا إلى القيمة التجريبية في عزمه الاستقطابي الثنائي نجد أن الماء يصبح حديدي الكهرباء تحت ما يقارب من 1140 °K . في سنة 1936 عاد ل . اونساجر إلى الحساب فاستبدل « الجزيء المسبار » الدقيق الذي يُستخدم في حساب لورنتز ، بقطب ثنائي يستقطب بنفسه الوسط المجاور ، المعتبر كوسط عازل ودائم : في مثل هذه الظروف لا يحدث الاستقطاب العفوي . إن نموذج اونساجر قد تحسن في سنة 1939 على يد ج . كيركود الذي اعتبر الجزيء المسبار وجواره المباشر كمجمل عرف ترتيبه بفضل الدراسات على أشعة X . وأعطت هذه النظرية التي طبقها ج . اوستر Oster وكيركود على حساب الثبوتية الكهربائية العزلية في الدرجة 25°C في مجال الكهرباء الثبوتية ، قيمة $\varepsilon = 78{,}2$ في حين أن القيمة التجريبية هي 78,5 وأنّ حساب اونساجر اعطى قيمة $\varepsilon = 31$.

إن نجاح نظرية كيركود يدل على دور ترتيب الجزيئات في مادة ما في خصائصها العازلة . وكذلك ديبي حسن نموذجه الكروي آخذاً في الحساب أن بنية المكان تحول دون بعض الحركات . وهذا الأمر أكثر صحة في البلورات حيث الاتصال الوثيق بين القوى الكهربائية والقوى الميكانيكية يترجم عن نفسه بخصائص خاصة : الكهرباء الخارجية (القشرية) والكهرباء الحرارية

والكهرباء القابضة والكهرباء الحديدية . دون التوقف عند هذه الظاهرات نشير فقط إلى أن علماء البث الكهربائي يستعملون عادة البلورات ذات الكهرباء القشرية وبخاصة الكوارتز لصنع مصاف للتواترات ، ومؤرجحات ذات ثبوتية قوية وساعات ذات دقة عالية . وفي التواترات العالية جداً ، القريبة من السلم الضوئي وسلم تحت الاحمر ، يلعب امتصاص الموجات الكهرمغناطيسية ذات التواترات الرجعية دوراً أساسياً في تحديد الثابتة العازلة : إن الميكانيك الكانتي قد غير تماماً تأويلها ولكنه لم يغير شكل قانون تغير مؤشر الانحراف مع التواتر $n^2 = 1 + \Sigma a^2_i/(f^2_i - f^2)$ وفي هذه المعادلة تمثل f_i تواترات الترجيح . إن ظاهرات الاستقطاب تجرّ وراءها تغيرات في الطاقة الداخلية للعازلات : وعلى هذا يرتبط استقطاب التوجيه بطاقة دوران الجزيئات ؛ ويرتبط الاستقطاب الذري بذبذبات الذرات داخل الجزيء والاستقطاب الالكتروني بطاقة الالكترونات داخل الذرات ويحدد الميكانيك الكانتي لكل من هذه الحركات مستويات طاقة ثبوتية ، بداخلها لا يشع النظام . والموجة الكهرمغناطيسية يمكن امتصاصها إذا كانت الفوتون تساوي الفرق بين طاقات مستويين مكمّمين : وهذا ما يحدّد تواترات الترجيع . وبالنسبة إلى الالكترونات الاطرافية في الذرات ، تحدث هذه الظاهرة في جوار السلم الضوئي . ولكن بالنسبة إلى حركة الذبذبات ودوران الذرات والجزيئات تبدو التواترات العاملة هنا ، في مرتبة أدنى ، بالنسبة إلى تحت الأحمر ، وحتى في السلم الكهربائي الاشعاعي .

وهناك جردة أولى للنظرية الكانتية حول العازلات ، قد جمعت سنة 1932 ، من قبل ج . فان فليك في كتابه : نظرية القابليات الكهربائية والمغناطيسية . وفيه يدرس بصورة كاملة حالة الغازات ضمن الظروف الطبيعية ؛ وبالمقابل لم يدرس موضوع الغازات تحت الضغط العالي ، وكذلك مسألة السوائل والجوامد إلا بصورة مختصرة جداً . ومنذ ذلك التاريخ فإن معارفنا بالأواليات التي هي في أساس الاستقطاب العزلي قد تقدمت بمقدار ما بنيت النظرية الكانتية حول الجزيئات والبلورات ، وبمقدار ما اتاحت التقنيات التجريبية الجديدة الوصول إلى بنياتها الميكروسكوبية (أشعة X وتشتت النيوترونات) .

مثلاً لقد أمكن تبين ارتباط الكهرباء الحديدية المعروضة التي تقدمها بعض البلورات أي وجود استقطاب عفوي على المستوى التضخيمي ، بتغير بسيط في الشبكة البلورية بحيث تصبح هذه الشبكة أقل تناظراً ، وليس بالتوجه العفوي للاقطاب المزدوجة التي قال بها ديبي . نذكر أيضاً أن فان فليك وف . ويسكوف Weisskopf سنة 1945 ثم فان فليك وهـ . مورجينو Morgenau سنة 1949 حاولوا وضع نظرية توحيدية للأواليتين التشتيتيتين اللتين تفسران الخسارة في العازل : إنه استرخاء ديبيه ، والامتصاص الانتقائي بفعل الذرات والالكترونات .

ورغم التقديم الضخم الذي حققه الميكانيك الكانتي ، تجدر الاشارة إلى الخدمات الكبرى التي قدمها الاحصاء الكلاسيكي ، كما دلت على ذلك نتائج دراسة التفاعلات الكهرثبوتية بين الجزيئات المضطربة ، وهي نتائج معروضة في كتب هـ . فروهليش Frohlich (نظرية العوازل ، 1949) وك . بوتشر Bottcher (نظرية الاستقطاب الكهربائي ، 1952) .

وفي سنة 1961 وبفضل ضخامة تركيز الطاقة الحاصلة بفضل اللازر الياقوتي استطاع ب . فرنكين Franken ومساعدوه رصد ظاهرات غير خطية داخل بلورات عازلة ، والحصول على انتاج ضوء بنفسجي بفضل مضاعفة تواتر الضوء الاحمر المتجانس . وأعطت هذه التجربة اهتماماً ضخماً لدراسة الاستقطاب غير الخطي الذي كان قد عولج من قبل ن . بلومبرجن Bloembergen . وتقع هذه التجربة عند نقطة التقاء مجالات ثلاثة في الدرس : نظرية العازلات ، وبث الضوء المتماسك بفضل اللايزر ودراسة الظاهرات غير الخطية (أنظر لاحقاً) .

VII ـ المطيافية الهرتزية وتطبيقاتها العملية

إن الدراسات التجريبية التي قدمت العناصر الاساسية من أجل وضع نظرية العازلات ، والبرهان على صلاحيتها ارتدت اهمية كبيرة بمقدار ما أعطت أيضاً معلومات عن بنية المادة . وعلى هذا فمعرفة عزوم ثنائية القطب أصبحت مهمة جداً منذ أتاح الميكانيك التموجي فهماً أفضل للشيء الذي يحدد لاتناظرية الجزيئات الكهربائية . وعلى سبيل المثال طبق قياس العزوم الثنائية القطب على دراسة بنية البروتينات ، والاسيدات الامينية والببتيدات بفضل ج . اونكلي وأ . كوهن Cohn وج . ادسال Edsall (1943) .

المطيافية الهرتزية ـ حتى أواخر الحرب العالمية الثانية كانت التجارب تجرى على شريطين من التواتر منفصلين تماماً : في الكهرباء الثبوتية وفي التواترات الكهربائية الاشعاعية تقاس الثوابت العزلية ، والخسارات في المواد ؛ وفي سلالم الضوء وتحت الاحمر يجري الاهتمام بشكل خاص بتواترات الامتصاص الانتقائي ،إلا أنه في 1934 قام كليتون Cleeton ووليامس Willinms باثبات أول انتقال جزيئي في سلم التواترات العليا وذلك بعد التبين أن الامونياك يمتص الموجات ذات الطول البالغ 1,25 سم للموجة الواحدة : وهذا مايسمى بشريط تعاكس الامونياك . ومنذ أواخر الحرب تطورت تقنية جديدة في دراسة الشرائط وخيوط الامتصاص تحت اسم « التسجيل الطيفي للتواترات الاشعاعية » أو تحت اسم « المطيافية الهرتزية » . ومجالها المفضل هو سلم التواترات العالية حيث تستفيد هذه التقنية من التقدم الحاصل بفضل الاعمال الجارية على الرادار وعلى الحزمات الهرتزية .

وعلى هذا ومنذ الدراسة التي اجراها ت . داكن Dakin ور . غود Good ود . كولس Coles سنة 1946 حول جزيء كوس COS اصبح مفعول ستارك Stark في مطيافية التواترات العالية طريقة مهمة في قياس عزوم الازدواج القطبي : وبالفعل ، وعندماتمتلك الجزئيات عزماً كهربائياً دائماً يحدث تطبيق حقل كهربائي ثبوتي تضعيفاً مهماً في خطوط الدوران ذي التواترات العالية ، شبيهاً بمفعول ستارك على الخطوط الضوئية .

وتكمل المطيافية المتعلقة بالتواترات العالية والتي تتيح القياس المباشر للفروقات بين المستويات الطاقوية المكممة بحركات الدوران وبذبذبات الذرات والجزئيات ، المعلومات التي تقدمها دراسة الاطياف البصرية فيما يتعلق بمستويات طاقة الالكترونات في الذرات .

وهكذا تتكون الخطوط الضوئية التي يبثّها جزيء الهيدروجين من خطوط رفيعة متقاربة جداً شرحتها نظريات سومرفيلد وديراك بوجود مستويات الكترونية متقاربة جداً داخل الذرة . وعن طريق المطيافية الهرتزية يمكن بصورة مباشرة اكتشاف الانتقالات بين هذه المستويات ، وعلى هذا درس لامب Lamb وريذيرفورد Retherford سنة 1950 البنية الدقيقة لطيف الهيدروجين الذري . نذكر أخيراً أن المطيافية الهرتزية هي آلة أساسية لدراسة السمات المغناطيسية في المادة : دراسة الرجع شبه المغناطيسي الالكتروني من قبل زافويسكي Zavoisky سنة 1945 ودراسة الرجع شبه المغناطيسي النووي من قبل بلوخ وبورسل تدلان على ذلك .

إن المطيافية الهرتزية تقوم في أغلب الأحيان على دراسة امتصاص الموجات عبر المواد . وهي تتخذ أحياناً اشكالاً أكثر دقة . وهذا هو حال طريقة النوافير الجزيئية التي يعود منشؤها إلى أعمال دو نوابيه Dunoyer سنة 1911 : نحدث ضمة من الجزيئات بتسخين المادة في فرن مثقوب بثقب واحد موضوع أمام سلسلة من الاغشية الحاجزة . وهذه الطريقة طبقت مثلاً في تجارب لامب وريذيرفورد التي سبقت الاشارة إليها .

وقبل معالجة تطبيقين مهيمن من تطبيقات المطيافية الهرتزية وهما الساعات الذرية والمازرات نذكر أيضاً مجالين في الدراسة تلعب فيهما التواترات العالية دوراً مهماً . إن القياسات بالموجات السنتيمترية والمليمترية أصبحت إحدى الوسائل المهمة في دراسة الغازات المؤينة . كما أصبحت تستعمل لدراسة مشتقات الحديد والعازلات ذات الخصائص المغناطيسية . وفي حال وجود حقل مغناطيسي يصبح هذين الوسطين متغيري الخواص وثنائيي الانكسار : وهكذا تتميّز مشتقات الحديد (فرّيت) بموتر تسريبي . ودراسة خصائصها المغناطيسية الدوارة ، والموجات التي تنتشر فيها ، قد تمت ، بذات الوقت ، على يد بولدر Polder سنة 1949 ، وعلى يد غولدشتين Goldstein سنة 1951 ، ثم من قبل العديد من الباحثين . وبالعكس ، وبفضل استعمال الفرّيت (راجع الفصل 4 من هذا القسم) اغتنت تقنية التواترات العالية بعناصر من أطواق غير متعاكسة « دوارة » ، و « لفّافة » أصبحت اليوم شائعة جداً .

الساعات الذرية ـ إن أول تطبيق عملي لانتقال التواتر الاشعاعي الكهربائي كان تثبيت الساعات المستعملة كمعايير ثانوية للوقت . وبعد تطور الكهرباء اللاسلكية ، تشكّل قلب هذه الساعات من رقاص هو الأكثر استقراراً أمكن تحقيقه بفضل التقنية الكهربائية اللاسلكية . حتى سنة 1925 ، كانت تواتر هذه الرقاصات يثبت بواسطة مرنان . وأتاح التثبيت بواسطة كوارتز كهربائي ضاغط ، والذي ظهر بفضل اعمال كادي Cady وماريسون Marrison ، صنع ساعات تقيس اليوم بدقة تبلغ 100 ألف جزء من الثانية تقريباً (الدقة النسبية 10^{-10}) ولكن للاسف تشاب ساعات الكوارتز بانحراف مهم في المدة الطويلة من الزمن (دقة نسبية بخلال شهر تعادل : 10^{-9}) . والانجازات البعيدة المدى وبقياس أقل الانجازات القصيرة المدى يمكن تحسينها بتثبيت تواتر الرقاص بواسطة انتقال كانتي وفقاً لمبدأ طرحه ي . ي . رابي Rabi منذ سنة 1940 .

وقد ثبتت « الساعات الذرية » الأولى بواسطة خط امتصاصي . وعلى أساس هذا المبدأ صنع

هـ . ليونس Lyons سنة 1949 ساعة على الأمونياك ، ثم ساعة على الكايسيوم (معدن قلوي) . وهي خالية من الانحراف ، ولكن ثبوتيتها المحدودة بعرض خطوط الامتصاص محصورة بين الثبوتية ذات الامد القصير والثبوتية ذات الامد الطويل في ساعات الكوارتز .

ومن أجل تحسين الثبوتية يجب العمل بواسطة المعايير الثابتة التي تحدد عرض الخطوط : اصطدامات واضطراب حراري : إن إحدى الطرق تقوم على استعمال نافورة جزيئية أو ذرية : وهكذا حصل زكريا Zacharias ومعاونوه على نتائج ممتازة بواسطة « الأتوميكرون » (أو الذرة المصغرة) وقد صنعوه سنة 1955 . واستعملوا طريقة رابي المستمدة من تجربة شهيرة قام بها سترن Stern وجرلاخ Gerlach سنة 1921 . وطريقة رابي وضعت لدراسة الاقطاب الثنائية الكهربائية والمغناطيسية ، في مجال المطيافية الهرتزية (راجع الفصل السابق) .

وتدل هذه التجربة على أنه بالامكان فصل الجزيئات ذات الطاقة الأكثر ارتفاعاً : وعندما تكون هذه الجزيئات أكثر عدداً نحصل على نظام يبث الاشعاع . وان نحن اسقطنا فوتوناً ذا تواتر ارتدادي فوق ذرة محثوثة ، هذه الاخيرة تبث فوتوناً ثانياً من ذات التواتر يعود فيسقط إلى مستوى ادنى . وعندها يقال إننا حصلنا على بث محثوث بالنسبة إلى البث العفوي العادي (انشتين سنة 1917) . ويشكل النظام عندئذ مضخماً يشار إليه بكلمة مازر نقلاً عن اوائل الكلمات في العبارة الاميركية : Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (تضخيم التواترات العالية بالبث المحفز للاشعاع) . وحقق ك . تونس . C. Townes ، وج . غوردن J. Gordon وهـ . زيغر H. Zeiger أول « مازر » Maser ، سنة 1954 ، باستعمال خيط آمونياك ارتدادي . في هذا الجهاز ، تتغربل ذرات محفورة من نافورة آمونياك بحقل كهربائي غير متّسق ، ثم أنها تجتاز طاسة مرجعة حيث تضخم موجة ذات تواتر عالٍ : وإذا كان عددها كبيراً بشكل كافٍ فالجهاز بشكل مؤرجحاً ذاتياً متناهي الاستقرار يمكن أن يستعمل كساعة ذرية .

هذه التجهيزات وغيرها مما هو قيد الدرس أتاحت تحسين قيامن الوقت إلى حد كبير . ويمكن لمازر من الهيدروجين الذري ، اقترحه ن . ف . رامسي N.F. Ramsay ان يسجل درجة ثبوت مقدارها (10^{-13}) . وكانت النتائج الحاصلة دقيقة لدرجةٍ ارتؤي معها تحديد الثانية بتواتر انتقال ذري ، كما جرى حديثاً تعريف المتر انطلاقاً من موجة ضوئية .إلا أنه لا بدّ من اتخاذ الحيطة الكبرى ، ويجري البحث بنشاط عن الانتقال الذي ـ بحكم استقلاله الكبير جداً عن الظروف الخارجية ـ يعطي أفضل تحديد للثانية .

تضخيم الاشارات الضعيفة بواسطة المازر (-Microwave Amplification by Stimulated Emmission of Radiation) ـ إن فكرة البث المحفز ، التي هي ركيزة عمل المازر ، ادخلها انشتين سنة 1917 ، في دراسة حول توازن المادة ـ الاشعاع .

في نظام متوازن من الناحية الحركية يتم توزيع الجزيئات أو الذرات ، بين مختلف المستويات المكممة وفقاً لقانون بولتزمان Boltzmann ، باعتبار أن حالات الطاقة الدنيا هي المألوفة أكثر . فالجزيء الذي يكون في حالة E_2 ، حيث يوجد عدد N_2 من الجزيئات ، يمكن أن

يسقط إلى مستوى أقل E_1 ، باثاً فوتوناً ذا تواتر : $\nu = (E_2 - E_1)/h$. إن الطاقة المبثوثة بخلال الوحدة من الوقت تكون متناسبة مع N_2 . وبالعكس إن اسقطنا على الجهاز عدداً (n) من الفوتونات ذات تواتر ارجاعي ، فالطاقة المستوعبة بخلال وحدة الوقت ، بخلال انتقال الجزيء من مستوى E_1 إلى مستوى E_2 ، تتناسب ، بأن واحد ، مع جمهور N_1 من المستوى E_1 ومع عدد الفوتونات n . يفترض انشتاين أنّ نظام الجزيئات يوضع في حوزة متوازنة حرارياً وحركياً : في مثل هذه الحوزة ، يتم الحصول على العدد (n) من الفوتونات ذات التواتر ν بفضل قانون بلانك Planck بالنسبة إلى اشعاع الجسم الاسود . في حالة التوازن بين نظام الجزيئات والاشعاع ، يجب أن يتكافأ بث وامتصاص الفوتونات . من السهل أن نرى أن البعث العفوي لا يكفي لمواجهة الامتصاص . وبالفعل إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة جداً ، فإن كثافة الفوتونات تصبح كبيرة جداً : وكما كان العددان N_1 و N_2 متجاورين جداً ، فإن الامتصاص يتغلب . ولا يمكن اقرار التوازن إلا بافتراض وجود نمط آخر من البث يتناسب مع كثافة الفوتونات : وهذا هو البث المحثوث أو المحفوز . وتدل الدراسة الكمية لهذا التوازن على أن احتمالية قيام جزيء من حالة E_1 بانتاج فوتون بالبث المحثوث تعادل احتمالية امتصاص فوتون من قبل جزيء من الحالة E_1 ؛ وتدل الدراسة الكمية ايضاً على ان احتمالية البث المفاجيء تتغير بتغير مكعب التواتر . ثم أن البث المفاجيء ، وهو عملية طبيعية لانتاج الضوء ، ضعيف جداً من حيث الذبذبات العالية .

ويدلّ تحليل التوازن «مادة ـ اشعاع » على أنه ـ في مادة بحالةٍ عادية ـ تكون المستويات لدينا هي الأكثر أهلاً ، ويكون الامتصاص أقوى من البث المحثوث . وللحصول على التضخيم ، يجب « عكس » الجماهير في المستويات . وغربلة الحالات المحثوثة في نوافير الجزيئات تتيح التوصل إلى التضخيم . ويمكن أيضاً استعمال طريقة « الضخ » التي تُعْمِل ثلاثة مستويات من الطاقة ، وبواسطة موجة ضخ ، تمر الذرات من المستوى الادنى E_1 إلى المستوى الأعلى E_3 . وإذا كان هذا المستوى الأخير أكثر أهلاً من المستوى الوسط E_2 ، يمكن أن يحدث تضخيم عن طريق البث المحثوث للفوتونات بين E_3 وE_2 ؛ وقد يحدث أيضاً أن يصبح المستوى E_2 أكثر جمهوراً من المستوى E_1 ، مما يتيح تضخيم موجة ذات تواتر انتقالي بين E_2 وE_1 . وقد استحدثت هذه الطريقة ، من أجل المطياف الهرتزي من قبل كاستلر Castler ، وبيتر Bitter وبرومل Brossel سنة 1950 ، تحت اسم الضخ الابصاري ، وموجة الضخ تكون من الضوء المكثف .

في المضخم ، يُرْغَبُ باستحداث قوة أكبر في الساعة : ولهذا توجد مصلحة في اختيار وسط ناشط بحالة الجمادية ، بحيث يمكن التحكم بكثافة أكبر من الباثات الاولية . في سنة 1955 قام الروسيان باسوف Basov وبروخوروف Prokhorov ، وبالاستقلال عنهما في سنة 1956 الاميركي ن . بلومبرغن N. Bloemborgen ، باقتراح تضخيم التواترات العالية بواسطة مازر ذي ثلاثة مستويات ، باستخدام المستويات المنخفضة التي وضعها زيمان مستعملاً ملحاً متوازي المغناطيسية ، وكان الضخ هو أيضاً يتم في التواترات العالية . وفي سنة 1957 قام هـ . سكوفيل H. Scovil وج . فيهر G. Feher وهـ . سيدل H. Seidel بوصف أول مازر من هذا النوع : إن العنصر الناشط هو بلورة من اتيلسولفات اللانتان ، حيث كان قسم من ايونات اللانتان قد استبدل بايونات متوازية المغناطيسية من الغادولينيوم .

وأثّر العديد من الظاهرات على اختيار المادة . وهكذا كان حال تفاعلات « الاسترخاء » ، أي كل الظاهرات التي تنزع إلى تفريغ المستويات العليا وإلى استجلاب التوازن الحراري الحركي عن طريق تفريغ فائض الطاقة من الجزيئات المحشوثة في الوسط المجاور . ولتخفيض تأثيرها ، يتوجب استعمال المازر ذي الملح المتوازي المغناطيسية بدرجة حرارة الهليوم السائل . هذا العائق الخطير بالنسبة إلى المستعمل هو مكسب من وجهة نظر الضجة . وهكذا حصل ماك ورتر Mac Whorter ومابر Meyer منذ سنة 1958 على درجة حرارة مساوية للضجة الأقل من 20°K بواسطة مازر متوازي المغناطيسية ذي ايونات من الكروم .

في هذا المازر ، كما في مازر سكوفيل Scovil ، وضعت المادة الناشطة ضمن تجويف ذي رجع ، مما لا يتيح تضخيم غير حزمة ضيقة جداً من التواترات . وتم ادخال تحسين ملحوظ على مازر ذي موجة متصاعدة وصفه سنة1959 دي غراس de Grasse ، وشولز ـ دوبوا Schulz-Duhois وسكوفيل : وتم الحصول على زيادة عرض الشريط أو الحزمة باستبدال التجويف بخط دوري ، من نمط حزمة الأنابيب ذات الموجة المتصاعدة . وبلغت درجة حرارة ضجة مثل هذا المازر ، باستخدام ياقوتة كمادة ناشطة ، معدل 2°K ، وضجيجها ضعيف إلى درجة أنه هو يتغطّى بالضجة التي تحدثها الاطواق ، إذا لم تتخذ الحيطة القصوى . إن الانجازات التي حققها المازر فتحت بالتالي امكانات جديدة أمام تقنيات الرادار والاتصالات السلكية وأكثر من ذلك أمام علم الفلك الاشعاعي حيث تؤخر كل زيادة في حساسية اللاقطات حدود الكون المتناول .

VIII ـ مرور التيار الكهربائي في الاجسام الجامدة

في حين كانت دراسة خصائص العازلات الكهربائية والمواد المغناطيسية ـ المتزاوجة مع التقدم في التواترات العليا ـ تؤدي إلى اكتشاف المازر ، كانت الاعمال الجارية حول التوصيلية الكهربائية في الاجسام الصلبة ، المستعادة ابتداء من سنة1926 ، تؤدي إلى اختراع الترانزيستور ، الامر الذي أحدث ثورة حقة في تطبيقات الالكترونيك .

نظرية الالكترونات في المعادن سنداً لسومرفلد Sommerfeld ـ رغم نجاح نظرية درود Drude ، اكتشفنا عدة نشازات تخالف التجربة ، ولم تنجح الحسابات الاكثر دقة التي قام بها لورنتز Lorentz إلا في تفاقمها . تفترض نظرية درود ـ لورنتز وجودغاز من الالكترونات الحرة في المعدن . وكان من الطبيعي التصدي لهذه الفرضية لأن الكترونات المعدن لم تتوجد في فضاء متوازن الزخم ، بل في زخم دوري خلقته ايونات الشبكة . في هذه الاثناء عاد سومرفلد إلى فرضية الالكترونات الحرة وإلى حسابات لورنتز عندما ظهرت سنة1926 نظرية فرمي Fermi وديراك Dirac ، حول السلوك الثبوتي للالكترونات .

وباستخدام مبدأ الاستبعاد الذي وضعه پولي Pauli ، وبموجبه يمكن لالكترون واحد أن يحتل كل حالة محددة بجملة من الاعداد الكمية ، بيّن فرمي Fermi بأن الالكترونات تتوافق مع احصاء مختلف عن احصاء كانتا الضوء والغازات المادية ، المدروس من قبل بوز Bose ، ومن قبل انشتين قبل ذلك بسنتين . ولا تشكّل صيغ الاحصاء الكلاسيكي إلا مقاربة ، وينطبق هذا على

احصاء بوز ـ انشتين كما على احصاء فرمي ـ ديراك . ولا تصلح هذه الصيغ عندما يكون غاز الجزيئات « تالفاً » أي عملياً في التركيزات القوية وفي درجات الحرارة المنخفضة .

وبافتراض وجود الكترون حر في كل ذرة ، تسهل رؤية « التخلف أو التلف » في غاز الالكترونات الحرة في معدن ما. وإذاً يتوجب أن ينطبق على هذا الغاز احصاء فرمي ، مما يعطي في الحال نتائج مفيدة . في الصفر المطلق تملأ الالكترونات المستويات الدنيا من الطاقة ، إلى حد طلب « مستوى فرمي » . عندما ترتفع الحرارة تتغير طاقة الالكترونات المجاورة لمستوى فرمي وحدها ، وبالتالي ، عندها تتغير فقط مساهمة الالكترونات في حرارة الجسم النوعية ، وهذا يتوافق مع قانون دولونغ وبيتي ؛ وهذه المساهمة ، تتناسب مع درجة الحرارة ، وبالتالي ، فهي تنعدم في حالة الصفر المطلق ، مما يوافق قانون نرنست Nernst حول الحرارة المتحركة .

ولدراسة توصيل الكهرباء والحرارة قام سومرفيلد بالعودة إلى طريقة لورنتز . وتوزيع الالكترونات في الفضاء الفيزيائي وفي فضاء السرعات ، يمكن الحصول عليه بواسطة « دالة التوزيع » التي يخضع تطورها في الزمن لمعادلة بولتزمان في النظرية الحركية .

وفي حالة الغازات ، تعطي هذه المعادلة دوراً مهماً للصدامات التي تعيد التوازن الحراري الحركي ، يتميز بدالة توزيع مكسويل في الاحصاء الكلاسيكي . وفي حالة غازٍ من الالكترونات منحلٍ ، أخذ سومرفلد كتوزيع للتوازن التوزيع الذي قدمه احصاء فرمي . أما حد تصادمات معادلة بولتزمان فقد عبر عنه بواسطة مسار حرٍ متوسط بين صدامين . وعندها استطاع أن يحسب كيف تتخرب وظيفة التوزيع من جراء تطبيق حقل كهربائي أو من جراء تغير في درجة الحرارة أو تغير في تركيز الالكترونات على طول الموصل . وباستخراج التوصيلين الكهربائي والحراري كما هو الحال في نظرية لورنتز نجد أن العلاقة بينهما ثابتة ، في درجة حرارة معينة ، كما يقضي بذلك قانون وايدمان وفرانز التجريبي ، والتوافق الكمي مع التجربة يكون أفضل مما هو عليه في النظرية الأساس التي قال بها درود . والنظريتان كذلك تفسران الظاهرات الحرارية الكهربائية ، ولكن مستوى ضخامتهما ، في نظرية سومرفلد أقل مما هو عليه في نظرية درود ـ لورنتز ، وهو أكثر توافقاً مع التجربة وبالمقابل لا يظهر تغير التوصيلية بتغير درجة الحرارة ، بشكل واضح في معادلة سومرفلد : لاظهاره ، لا بد من توضيح مفهوم المسار الحر الوسطي للالكترونات داخل الجسم الجامد .

وقبل معالجة هذه المسألة نذكر أن النظرية الجديدة تفسر بشكل صحيح استخراج الالكترونات من المعادلة . إن احصاء فرمي يتيح مباشرة العثور على قانون ريشاردسون ، المعدل من أجل البث الحراري الايوني : $i = AT^2 \exp(-b/T)$ ، في حين لا يستطيع الاحصاء الكلاسيكي اعطاء قانون غير القانون المبني على $T^{1/2}$. وقد رأينا مع ذلك أن ريشاردسون Richardson وتيترود Tetrode ودوشمان Dushman قد حصلا على القانون المعدّل قبل ظهور إحصاء فرمين ، وذلك بفضل تحليلات في الحرارة المتحركة (الترموديناميك) باستعمال الثابتة الكيميائية في الالكترون ، المحسوبة سنداً لأعمال ساكور Sackur وتيترود Tétrode ، وهذه الأعمال ارتكزت على مبدأ نرنست .

وأخيراً يقدم الميكانيك التموجي تفسيراً لواقعة لوحظت قبل ذلك بعدة سنوات مفادها : عندما نرفع توتّر الأنود ، فإن التيار الحراري الايوني لا يتشبع تماماً ، كما يوحي بذلك قانون ريشاردسون ، إذ يستمر التيار في الارتفاع الخفيف . ويفسره الميكانيك التموجي بخصوصية ليس لها مثيل في الميكانيك الكلاسيكي : عند وجود حقل كهربائي ضاغط على سطح المعدن يتخذ حاجز الزخم الكامن سماكة متناهية وتستطيع الموجات الالكترونية خرقه ، حتى ولو لم تكن الالكترونات ذات طاقة كافية للتغلب على هذا الحاجز أو القفز فوقه . ويفسر « مفعول النفق » ذاته ، في الميكانيك التموجي كيف يمكن لرأس بارد رفيع أن يبث الكترونات تحت تأثير حقل كهربائي مرتفع ، وهي ظاهرة رصدها وود Wood منذ سنة1898 . وينسجم قانون « بث الحقل » الذي توصل إليه فولر ونوردهيم Nordheim سنة 1926 بفضل الميكانيك التموجي ، مع النتائج التجريبية التي قام بها ميليكان Millikan ويرينغ Eyring سنة 1926 . ويصعب تطبيق بث الحقل ، عملياً ، ولكنه يستخدم في بعض المجاهر الالكترونية ، كما أن دراسته عادت من جديد واستولت على الاهتمام منذ سنة 1950 ، وذلك من أجل تطبيقها احتمالياً في الأنابيب الالكترونية .

مسار الالكترونات الحر الوسطي داخل المعادن ـ منذ سنة 1928 باشر العديد من المؤلفين دراسة المسار الحر الوسطي للالكترونات داخل المعدن ، وهي دراسة اتاحت حل المسألة الرئيسية التي تركزت في الظل من قبل نظرية سومرفيلد . وقام فرنكيل Frenkel وهوستون Houston وف . بلوخ ، كل على حدة بالاستعانة بالميكانيك التموجي لمعالجة هذه المسألة . وبإرجاعها إلى دراسة بث الموجات الالكترونية عن طريق شبكة التبلر ، يتم الوقع على مسألة مجاورة لمسألة تشتيت أشعة X بواسطة البلورات . عند الصفر المطلق تكون ايونات الشبكة في حالة استراحة وإذا افترض البلور نقياً خالصاً فإن انتشار الموجات يتم بسرعة ثابتة بدون تشتت . وعندما ترتفع درجة الحرارة يتغير شكل الشبكة بفعل الاضطراب الحراري الذي يصيب الايونات وعندها يحدث تشتت في الموجات : ولما كانت طاقة الاضطراب الحراري في الشبكة تتناسب مع درجة الحرارة ، وذلك في حالة البعد الكافي عن الصفر المطلق ، فمن الممكن توقع مسار وسط يتناسب مع درجة الحرارة ، ويتناسب بالتالي ، عند تطبيق معادلة سومرفيلد ، مع توصيلية تتناسب عكساً مع درجة الحرارة المطلقة وهذا ما يتوافق مع التجربة . وقبل معالجة مسألة انتشار الموجات الالكترونية في شبكة ذات اضطراب حراري ، يتوجب دراسة الانتشار داخل شبكة دورية كاملة . وفي هذه الحالة الاكثر بساطة ، قدم بلوخ شكل حلول معادلة شرودنجر Schrödinger في الميكانيك التموجي . وفي الحال بدا وجود انعكاس انتقائي للموجات التي تتجانس مع معادلة براغ : ($n \lambda = 2 d \sin \alpha$) بين طول الموجة λ ، والمسافة بين الذرات d والزاوية α لاتجاه الانتشار ، مع السطوح الشبكية في الشبكة البلورية ، باعتبار n عدداً صحيحاً .

إن شرط براغ هذا ، المعروف جيداً في دراسة تفتت اشعة X بفعل البلورات قد لعب دوراً أساسياً « في نظرية الحزمات أو الاشرطة » . ومع ذلك يدل الحساب البسيط الجاري بالاستناد إلى توزيع فرمي ، على أنه ـ في حالة بلورة معدنية مثل الفضة ـ تزيد أطوال الموجات الالكترونية في كبرها فلا يمكن معها حدوث انعكاس انتقائي . ضمن هذه الشروط تنتشر هذه الموجات بدون أن

تضعف ، داخل الشبكة الكاملة . وهكذا يفسر التأويل التموجي وجود الكترونات حرة داخل شبكة بلورية في حين تبدو هذه الالكترونات ـ في النظرية الجسيمية ـ وكأنها تفعل ، « فعل كرة تقذف لعبة اوتاد » ، بحسب عبارة ل . بريلوين .

ويعطي حساب للاضطراب الحراري في الشبكة وذلك عند احتساب الاضطراب الذي يحدثه هذا الاضطراب بالنسبة إلى الانتشار داخل البلور النقي في درجة الصفر المطلق . ولهذا يجب اعمال تنقلات الايونات بشكل موجات مطاطة سبق ودرست قبل ذلك بعشر سنوات تقريباً . ويتوجب الأخذ في الحساب واقعة أن طاقة هذه الموجات المطاطة تكمم : وكميتها الطاقوية التي تسمى الآن « فونون » تخضع لاحصاء بوز ـ انشتين . ومن جهة أخرى وسنداً لمبدأ بولي الاستبعادي يمكن لالكترون واحد أن يتوجد داخل خلية أولية في فضاء السرعات : وبالتالي ، وأثناء « التصادم » لا يستطيع الالكترون أن يحتل خلية إلا إذا كانت هذه الخلية حرة ، ومعادل عملية التصادم التي قال بها لورنتز وسومرفيلد ، هو انتقال الكترون من خلية أخرى مع إيجاد أو امتصاص فونون أي مع حدوث أو امتصاص كمية من الطاقة الحرارية الموجودة في الشبكة . وهذا هو حد التفاعل بين الالكترونات واضطراب الشبكة الذي يجب نقله أو تأجيله في معادلة بولتزمان بدلاً من معامل أو صانع الاصطدام . وبواسطة هذه الطريقة ادت اعمال بلوخ وهوستون ، المستكملة بأعمال بريلوين ، إلى الاستنتاجات التالية التي ثبتت تقريباً بصورة تجريبية بالنسبة إلى غالبية المعادن النقية : في درجات الحرارة الاستعمالية تتناسب المقاومة مع درجة الحرارة المطلقة T ؛ وفي درجات الحرارة التي تقل « عن درجة حرارة ديبي » في نظرية الحرارة النوعية ، في الجوامد ، تكون درجة الحرارة المطلقة متناسبة مع T^5 . وفي سنة 1931 بين نوردهيم أن عيوب الشبكة البلورية والشوائب تدخل مقاومة إضافية ، بمعزل عن درجة الحرارة . وبالمقابل لا تظهر هذه النظرية شيئاً مماثلاً للتوصيلية المتفوقة : إن الإبطال المفاجىء للمقاومة ، عند الاقتراب من الصفر المطلق ، وهو الأمر الذي رصده كمرلينغ اونس سنة 1911 ، قد بقي لمدة طويلة وما يزال أحد أسرار الفيزياء .

نظرية الضمم : العازلات والموصلات النصفية ـ تدل دراسة حركة الالكترون داخل بلور ، أو بصورة أولى دراسة انتشار الموجة المقترنة به ، في الميكانيك التموجي انه ، نتيجة دورية الشبكة البلورية ، يتوجب أن تكون طاقة الالكترونات محصورة ضمن ضمائم ، تتطابق حدودها مع اطوال موجات تتناسب مع شرط الانعكاس الانتقائي الذي قال به براغ : وهذه الحدود القصوى تعينها دراسة « مناطق بريلوين » ، أساس الفيزياء الحديثة حول الجوامد . وبين ضمم الطاقة المسموح بها تمتد ضمم أو أحزمة ممنوعة وعندما نأخذ بالحسبان واقعة كون البلور محدوداً ، ولا يحتوي إلا على عدد من الذرات N ، نجد أن كل حزمة أو ضمة تحتوي على عدد N من مستويات الطاقة الخفية ، المتقاربة جداً ، وكل واحد من هذه المستويات يمكن أن يحتوي على الكترون واحد . ويمكن أن نفسر لانفسنا منشأ هذه الضمم عندما نتصور أخذنا لعدد N من الذرات يبعد بعضها عن بعض ثم نقربها فيما بينها : ونتيجة تفاعلها فيما بينها ينقسم مستوى الذرة المعزولة الكمي إلى عدد من المستويات N تشكل حزمة أو ضمة .

إن نظرية الضمم ـ التي عرفها ستروت Strutt سنة1927 ، وطوّرها العديد من المؤلفين ومنهم بلوخ وبريلوين وبيرلس Bierls ومورس ـ أعطت مفتاحاً للتمييز بين العازلات والموصلات ، وبين الالكترونات المرتبطة ، والالكترونات نصف الحرة ، خاصة على أثر الاعمال التي قام بها آ . هـ . ويلسون Wilson سنة1913 . والفكرة الأساسية هي أن الضمة المملوءة تماماً لا تشارك في التوصيل : فالمستويات المجاورة لمستويات الالكترون كلها مشغولة ، والحقل الكهربائي لا يستطيع أن يعطي هذا الالكترون طاقة كافية لكي يجتاز الشريط الممنوع وبالتالي يكون الجسم الذي لا يحتوي إلا على شرائط كاملة ، جسماً عازلاً . وبالعكس أن الجسم الذي يمتلك شريطاً غير كامل الامتلاء يكون جسماً موصلاً : ويكون الشريط المملوء نصفياً هو شريط التوصيل .

وهناك حالة ثالثة يمكن أن تعرض هي حالة الموصلات النصفية . وبالمعنى المذكور أعلاه انها أجسام عازلة في درجة حرارة منخفضة ، ولكنها تمتاز بخصوصية تملك شريط محظور ضيق فوق الشريط الاخير الممتلىء ، إنه الشريط الذي يشكل « شريط الصلاحية أو التكافؤ » . وأيضاً عندما ترفع درجة الحرارة يعمل الاضطراب الحراري في الشبكة على تمرير الكترون من شريط التكافؤ إلى الشريط الذي يليه مباشرة ارتفاعاً ، ويسمى « شريط التوصيل » . ويترك هذا الالكترون مكاناً فارغاً (ثقباً) داخل شريط التكافؤ . وفي الشبكة البلورية يحدث كل شيء كما لو أن جزئية إيجابية قد ظهرت في النقطة المقابلة : وفي الواقع أن إيجاد زوج الكترون ـ ثقب هو معادل التأين في الغازات ، فينفصل الكترون عن الذرة . ويمكن للثقوب أن تنتقل داخل الجسم الصلب دون أن يكون هناك حركة في الايون : ويأتي الكترون آخر من شريط التكافؤ ليأخذ المكان الحر ، تاركاً ثقباً آخر في مكانٍ آخر . وهكذا تنتشر الالكترونات والثقوب داخل البلور ، كلما انتشرت الايونات داخل تفريغ غازي ، ثم بعد حقبة من الحياة تعود فتندمج . وعندما نطبق حقلاً كهربائياً ، تشارك الالكترونات المنتقلة إلى شريط التوصيل ، والثقوب التي احدثتها في شريط التكافؤ ، في عملية التوصيل . والتنامي السريع جداً في عدد الازواج الكترون ـ ثقب مع تزايد درجة الحرارة يحدث خصوصية تميزية في الموصلات النصفية : إن المقاومة الكهربائية تتناقض عندما ترتفع درجة الحرارة .

هذه الأجسام المسماة « نصف موصلة ضمية » هي أجسام نقية أمثال عناصر العامود الرابع في جدول منداليف Mendéléev ومنها الجرمانيوم والسليسيوم وهما الأكثر استعمالاً . وهناك أيضاً « موصلات نصفية خارجية » وتعودخصائصها إلى وجود شوائب .

وإذا أدخلنا شائبة من المجموعة الخامسة مثل الأنتيموان أو الانديوم ، في بلورة من السليسيوم ، فأننا ندخل الكتروناً إضافياً . وهذا الاخير ضعيف الاتباط ويمكنه أن ينتقل إلى داخل شريط التوصيل : ومثل هذه الشائبة تحدث توصيلية زائدة بفضل زيادة الالكترونات ، وتسمى توصيلية« النمط n » . وبالعكس ان أدخلنا شائبة من المجموعة الثالثة مثل البور bore فإننا نترك مكاناً شاغراً أمام الكترون ما : ومنذ أن يأتي الكترون من ذرة من السليسيوم ليحل في هذا المكان الشاغر ، يحدث ثقب في شريط تكافؤ البلور ، وعندها يمتلك البلور توصيلية نتيجة نقص

الالكترونات تسمى « النمط p » . وتدخل ذرات الشوائب مستويات إضافية تقع داخل الشريط المحظور : وفي الموصلات النصفية من « النمط n » ، تتوجد « مستويات تعطي » الالكترونات ، الواقعة بجوار شريط التوصيل ؛ وفي الموصلات النصفية من « النمط p » ، تتوجد « مستويات لاقطة » تقع إلى جوار شريط التكافؤ . إن خصائص البلورات مرهونة بقوة بوجود الشوائب : ثم أن عمليات التنقية واضافة الشوائب ـ وتسمى هذه العملية الاخيرة : « إشابة » ـ تلعب في تكنولوجيا الموصلات النصفية دوراً يشبه دور تقنية الفراغ بالنسبة إلى الانابيب الالكترونية .

ومن سنة1928 إلى سنة1932 تقدمت نظرية توصيل الكهرباء في الجوامد تقدماً مشهوداً ، وقد وُجدت تفسيرات لخصائص الموصلات النصفية . لا شك أنه ما زالت هناك نقاط تفصيلية يجب توضيحها ، ويتوجب أيضاً تكيف تحليل الظاهرات الكهربائية مع تطور شكلانية الميكانيك الكانتي أو الكمي : وهذا التطور كان سريعاً جداً إلى درجة أنه بعد خمس سنوات من سنة1930 أصبح من الصعب التعرف على حسابات سنة1930 بأشكالها الجديدة ، رغم أن الافكار الاساسية بقيت كما هي .

المقومات والموصلات النصفية ـ إن التقدم في معرفة أوالية التوصيل الكهربائي في الجوامد ، ظهر على الصعيد العملي حوالي سنة1950 مع ظهور الترانزيستور . واصل هذا الجهاز يعود قبل ذلك إلى المقومات التي استعمل بعضها منذ بداية هذا القرن .

في حوالي سنة1920 بُدىء باستعمال « المقومات الناشفة » لتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر . وتتكون هذه الاجهزة التي ما زالت في الاستعمال من صفيحة معدنية مغطاة بطبقة موصلة نصفياً : إن المزدوجات نحاس ـ اوكسيد النحاس والحديد ـ سيلسيوم هي الأكثر انتشاراً .

وفي محاولة شرح عملها جرت الاستعانة في حوالي سنة1930 بأوالية سبق استعمالها في نظرية فروقات الزخم الموجودة عند تماس معدنين . وفي حالة التوازن يتوجب على نفس العدد من الالكترونات أن يجتاز سطح الفصل بالاتجاهين وعندما تختلف اعمال خروج المعدنين ، يفترض تحقيق هذه الحالة من التوازن إقامة فرق في الزخم ، في صورة عفوية عند تماسهما ، وهكذا ينشوء حاجز الزخم المستحدث ، تشوها غير تناظري بحسب ما يطبق عليه فرق زخم بهذا الاتجاه أو ذاك . وينتج عن ذلك أنه من السهل تمرير التيار في أحد الاتجاهين . هذا اللاتناظر الكهربائي ، الخفيف جداً عند تماس المعدنين ، يصبح قوياً بما فيه الكفاية عند تماس بعض المعادن مع بعض الموصلات النصفية ، بحيث يمكن استخدامه ، أي اللاتناظر ، في المقومات الصناعية (المحولات) . في سنة1939 بحث ن . ف . موت Mott في إمكانية توضيح نظرية هذه المعادن ، فدرس كيفية تغير توزيع الالكترونات داخل الموصل النصفي عند مجاورة المعدن وهذه النظرية رغم تحسينها على يد شوتكي وبيت Bethe لم تكن أهلاً لتوضيح كل الوقائع المرصودة . ودراسة المقومات الجامدة قد استفادت من جهود الحرب التي بذلت حول الرادار . ولما كانت الأنابيب الفراغية « ديود » تعطي نتائج سيئة في حالات التواترات العالية ، كان لا بد من العودة إلى جهاز قريب من اللاقط المصنوع من كبريت النحاس (غالين) . هذا اللاقط المتكون من رأس

معدني مرتكز على بلورة من سولفور الرصاص ، كان يعتبر واحداً من أفضل اللاقطات قبل ظهور أنابيب الفراغ المتمادي . واشتقت اللاقطات التواترات العالية منه وذلك باستبدال سولفور الرصاص ببلور السيلسيوم الأحادي وتحقق بخلال الحرب العالمية الثانية ، تطوير هذا الجهاز بفضل مساهمات عدة ، غالباً ما كانت مجهولة الفاعلية . ومن بين أهم المساهمات نذكر انتاج السيلسيوم الذي يحتوي أقل من 1/1000 من الشوائب على يد سيتز Seitez سنة1942 ، ثم ادخال كميات قليلة جداً من البور إلى السيلسيوم على يد تيورير Theurer سنة1943 .

وبذات الوقت تم عمل مهم تناول الجرمانيوم ، في الولايات المتحدة في جامعة بوردو Purdue ، وفي جامعة المختبرات الصناعية لشركتي بل تلفون Bell Telephon وجنرال الكتريك . وقام باحثو جامعة بوردو باشراف لارك ـ هورويتز Lark- Horowitz ، بالحصول على نتيجة رئيسية وذلك باستحداث منطقة p ، ومنطقة n في نفس تقويم التيار . واعملت نظرية « الوصلات » التي قدمها و شوكلي في تموز سنة1949 الالكترونات والثقوب بآن واحد . وقد فسرت بصورة كاملة خصائصها التقويمية المستعملة اليوم بشكل شائع : فالانابيب « ديود » نصف الموصلة اصبحت تصنّع لتجهيز المعدات الكهربائية الاشعاعية ، وفي صناعة الحاسبات الالكترونية .

وفي عمل الوصلات يقوم بدور أساسي فيها ، انتشار الالكترونات والثقوب من منطقة ذات تركيز قوي نحو منطقة ذات تركيز ضعيف . إنها ظاهرة تشبه الظاهرة التي عُثر عليها ، منذ بداية نظرية السوائل التحليلية (الكتروليت) والغازات المؤينة : وفي جميع الأحوال نجد دائماً نفس العلامة التي قال بها انشتين بين معامل الانتشار والحركية . وعلى هذا تنتشر الالكترونات الحرة ، الأكثر عدداً في المنطقة n باتجاه المنطقة p في حين تنتشر الثقوب باتجاه معاكس . ويبقى إذاً في المنطقة n في جوار « الوصل » فائض من الايونات الايجابية ، وفي المنطقة p فائض من الايونات السلبية : وتشكل هذه الايونات حاجزاً فضائياً مشحوناً يسود فيه حقل كهربائي . في حين تبقى بقية البلور متوازنة الزخم . ويفسر تغيّر هذا الحاجز ، عندما نطبق فارقاً في الزخم على أطراف الوصل ، خصائص التقويم .

وتمتلك الوصلات أيضاً خصائص كهرضوئية رائعة . وفي هذا الشأن يمكن لفوتون دخل إلى نصف موصل أن يمرّر الكتروناً من شريط التكافؤ إلى شريط التوصيل ، محدثاً بذات الوقت ثقباً . وينتج عن ذلك أن وصلاً يوجد عفوياً عند اطرافه فرق في الزخم يستطيع أن يولد تياراً في طوق خارجي عندما يخضع للاضاءة . وتشكل هذه الظاهرة الاثر الضوئي الفولتي الذي رصده سنة1959 ي . بيكريل عند ملامسة الكترود من البلاتين بمحلول من الأسيد الكبريتي . وتطبق خاصية الوصلات هذه في صنع البطاريات الضوئية .

ويفسر إيجاد المزدوجات الكترون ـ ثقوب بواسطة الفوتون زيادة التوصيلية في الموصلات النصفية عندما تخضع للاضاءة : وتسمى هذه العملية بالتوصيلية الضوئية وقد شوهدت في السيلينيوم منذ سنة1878 بفضل و . سميث . ويومئذ لم تعط اهمية علمية ، إلاّ قليلاً ، لنتائج التجريبية التي اجريت على مختلف المواد ، إلى أن جاء هيلش Hilsch وبوهل Pohl فقدّما نظرية

هـذه الظاهـرة في سنة1937 ولكن هـذه الدراسـة الاخيرة قلما جذبت الانتبـاه ممـا اضـطر بـوهـل وستوكمان Stöckman إلى نشر دراسة ثانية حول هذا الموضوع سنة1947 . وابتداءً من هذا التاريخ عرف التوصيل الضوئي وكأنه خاصة اساسية في الموصلات النصفية التي يعتبر فيها خلق مزدوج « الكترون ـ ثقب » بواسطة فوتون ، معادلاً لتأيين غازٍ بواسطة المفعول الكهرضوئي . إن دراسة مدة حياة المزدوجات الكترون ـ ثقب المحدثة على هذا الشكل ، كانت مصدراً مهماً للمعلومات حول خصائص المادة نصف الموصلة . وللتوصيلية الضوئية أيضاً تطبيقات عملية منها : بواسطة مواد مثل سولفور الرصاص يمكن صنع خلايا حساسة تجاه الضوء تتيح التقاط الاشعاع تحت الاحمر . واستعملت هذه الخاصية أيضاً في انبوب جديد لالتقاط الصورة التلفزيونية اسمه الفيديكون .

الترانزيستور ـ واهم تطبيق عملي للموصلات النصفية هو بـالتأكيـد الترانـزيستور الـذي أخذ يحتل مكان انابيب الفراغ في استعمالات كثيرة ، خاصة في التواترات المنخفضة . « هذا المثلث الفـراغي » (تريـود) ، الموصـل نصفياً ، تم تحقيقـه في بادىء الامـر بشكـل « تـرانـزيستـور ذي رؤوس » وصفه سنة1948 ج . بـاردين Bardeen وو . براتين Brattain في « المجلة الفيـزيائيـة » : يوضع متماسان رأسيان شبيهان بالنماسات المستخدمة في المقومـات ذات الرأس ، الـواحد قـرب الآخر (بمعدل ما بين 0,005 و 0,025 سم) فوق السـطح الاعلى من كتلة صغيرة من الجرمانيـوم . وأحد هذين المماسين مستقطب بالاتجاه المباشر ، ويسمّى مرسلاً ، أمّا المماس الثـاني فيستقطب بـالاتجاه المعـاكس ويسمّى لاقطاً . وهنـاك مماس واسـع السطح ضعيف المقـاومـة ، من الوجـه الاسفل ، يسمى قاعدة ، ويشكل العنصر الثالث في المثلث الانبوبي (تريود) .

ويعتبـر اختراع التـرانزيستـور نتيجة اعمـال مهمة في فيـزياء الجـوامد ، وفّـر لاصحابـه وهم شوكلي وباردين وبراتين مكافأة هي جائزة نوبل . ويعتبر هذا الاختراع مثـلاً بارزاً في شـروط العمل المجموعي داخل المختبرات الكبرى الحديثة .

وقبل الحرب العالمية الاولى شكلت مختبرات شركة بال تلفون Bell Telephon مجموعـة من الباحثين لدراسة الالكترونات في الجوامـد : وكان وليـام شوكلي الـذي انضم إلى المجموعـة سنة 1936 هو المنظر الرئيسي فيها . وساهم هذا المختبر في مجهود الحرب حول الرادار ، وتابع اعمالاً مهمة حول الجـرمانيـوم والسيلسيوم في لاقـطات التواتـرات العاليـة . وكانت النتـائج التكنـولوجية الحـاصلة ثمينة عندما تمت العـودة إلى البحث النظري بشكـل أنشط ، ابتـداءً من سنـة1945 بعـد مجيء ج . بـاردين . وكان أحـد المواضيـع المهمة في الـدراسة تعـديل مقـاومة فيلم رفيـع نصف موصل بواسطة حقل كهربائي مطبق بـواسطة الكتـرود معزول عن الفيلم . وكـان و . شوكلي يـأمل بالتحكم بالتيـار في الفيلم بواسـطة « اثر الحقـل » ، والحصول على التضخيم في أنبـوب فراغي . ورصد المفعول المطلوب ، إنما بـزخم أقل ممـا تنبأت بـه النظريـة . ولتفسير هـذا الفشل النصفي اقترح ج . باردين نظرية جديدة حول سلوك الالكترونات والثقوب عند سطح الجامد . وللتحقق من هذه النظرية الجديدة ، اضطرو . براتين إلى استكشـاف المنطقة المجاورة لتماس رأسي نقـطي في معـدن نصف موصـل بواسـطة رأس ثان معـدني ؛ وهكـذا تم العثـور على بنيـة التـرانـزيستـور ذي الرؤوس . ولم يستخدم المضخم المكتشف هنا مفعول الحقل المبحوث عنـه بل استخـدام مفعول

« التنقلية » (ترانزيسترانس) الملحوظ عندما يكون هناك تفاعل بين تماسين مقاومين أو بين وصلتين متقاربتين بشكل كاف .

وانطلاقاً من هذا الاكتشاف تسارعت الاحداث . في نيسان سنة1949 ، أوضح باردين وبراتين مبدأ تشغيل الترانزيستور ذي الرؤوس . وفي تموز من نفس السنة ، وفي المقال الذي عرض فيه نظرية الاتصال p-n درس شوكلي نمطاً آخر من الترانزيستور مكوناً من وصلتين قريبتين جداً مستقطبتين باتجاهين متعاكسين ومحفوظتين داخل نفس البلورة نصف الموصلة . ودرس الترنزيستور الاول نظرياً قبل أن يحقق عملياً ، وهو يقوم على الوصلات ، وتم وصفه في تموز سنة 1951 من قبل شوكلي وسباركس Sparks وتيل Teal وبخلال ما يقارب العشر سنوات اقتحم بصورة تدريجية غالبية مجالات التطبيق في مجال الالكترونيك والكهرباء الضوئية . ويتألف هذا الجهاز ، مثلاً من منطقة n تشكل الاساس أو الركيزة وتقع بين منطقتين p تشكلان المرسل واللاقط . وتشحن الوصلة « المرسل ـ القاعدة » بضغط ضعيف في الاتجاه المباشر أما الوصلة « قاعدة ـ لاقط » فتشحن بضغط قوي بالاتجاه المعاكس . وينتشر تيار من الثقوب من المرسل نحو القاعدة عبر الوصلة ؛ وبفضل انفاق ضعيف للطاقة ، يتيح توتر « المرسل ـ القاعدة » تنظيم زخم هذا التيار . وتعطي القاعدة طولاً ضعيفاً بالنسبة إلى طول الانتشار في هذه المنطقة ، بحيث تستطيع الثقوب الآتية من المرسل اجتياز منطقة اللاقط قبل أن تتم عملية إعادة الدمج . ويكون دور الوصلة « مرسل ـ قاعدة » قائماً على زرق ثقوب في اللاقط ، وبالتالي اجبار البطارية التي تستقطب الوصلة « قاعدة ـ لاقط » على تقديم الطاقة . وإذا كان ضغط التحكم تناوبياً ، يمكن الحصول على ضغط أعلى من ضغط التحكم وذلك في اطراف معوق للشحنة يوضع بشكل سلسلة مع المرسل ، وعندها يحصل التضخيم .

ولم يتخل شوكلي عن فكرته حول المضخم ذي مفعول الحقل : فنشر سنة 1952 دراسة عن نموذج « ترانزيستور موجد القطب » تمت العودة إلى نظريته سنة 1953 على يد ج . داسي Dacey وي . روس Ross . وطبق هذا المبدأ بصورة مستقلة في « التكنوترون » ، الذي اخترعه سنة1958 س . تزنير Teszner ؛ والجهاز المحقق بهذه الصورة يمتلك خصائص اقرب إلى خصائص انابيب الفراغ منها إلى خصائص الترانزيستور ذي الوصلات . وهناك مضخمات بمفعول الحقل ما تزال قيد الدرس حالياً في العديد من المختبرات .

إن تقدم العناصر الموصلة النصفية يتعلق في قسم كبير منه بتقدم التكنولوجيا بالنسبة إلى هذه العناصر . واستعمال طريقة « تذويب المنطقة » ، في اعداد الجرمانيوم ، على يد و . بفان Pfann قد لعب دوراً مهماً . وطريقة بث الشوائب التي جاءت سنة1955 تضاف إلى طرق السحب والمزج من أجل اعداد المناطق من نمط n ومن نمط p داخل نفس البلورة ، قد اتاحت تحقيق وصلات متناهية الرقة . وبالتالي الحصول عن طريق الفبركة الصناعية على ترانزيستور يعمل بالتواترات العالية حتى حدود 500 مغاهرتز MHz . وبفضل مرونة التكنولوجيا المستعملة في صنع الموصلات النصفية أمكن انجاز دارة « متكاملة » داخل نفس البلورة من شأنها أن تحلّ محل جهاز مؤلّف من مضخم ومن مقاومات ومن سعات . وظهور « الدارات المتينة » هذه ، وهو أحد الطرق لتحقيق

التصغير الميكروسكوبي للأجهزة ، يشكل بدون شك منعطفاً في الالكترونيك التطبيقي .

الموصلات النصفية في حالة التواترات العالية ـ إن المقومات ذات التوصيل النصفي ما تزال اللاقطات الوحيدة والخلاطات المستخدمة في مجال التواترات العالية . وبالمقابل كان من الصعب جداً منع مضخمات من هذا العيار بواسطة عناصر ذات توصيل نصفي : ولم تنجح الترانزيستورات في مزاحمة الانابيب مزاحمة جدية فيها إلا أن اكتشاف انبوب فراغي (ديود) من قبل أزاكي سنة 1957 قد اتاح مضخمات ضعيفة .

وقد تميز هذا الديود بوصلة ناعمة للغاية تستطيع الالكترونات والثقوب اجتيازها « بمفعول النفق » ، كما تنبأ بذلك الميكانيك التموجي . وعندما يرتفع التيار الذي يقطعها يخف الضغط عند اطرافها : فهي تمثل بالتالي مفعول « مقاومة سلبية » . فإذا رُكب ديود أزاكي في تجويف ما ، مكن من صنع مضخم ، أو موتر ذي تواترات مرتفعة : وفي سنة 1961 توصل ك . آ . بورروس إلى الحصول على ذبذبات طول موجتها في حدود 3 ملم . وهناك أمل أيضاً في استخدامه لصنع ذاكرات الكترونية ذات سرعة عالية جداً في التشغيل .

وفي السنوات الاخيرة تم اكتشاف طريقة اخرى لاستخدام الديودات ذات الايصال النصفي كمضخمات للتواترات العالية . إنها طبقة جديدة من « المضخمات المعيارية التي يرتكز تشغيلها على خصائص الرادات غير الخطّية .

إن المكون الالكتروني الذي لاقى النجاح الاكبر في تحقيق هذه المضخمات هو ديود نصف موصل درسه بشكل خاص أوهلير Uhlir سنة 1956 . وكانت الوصلة الموجهة باتجاه معاكس تشكل طاقة تتعلق قيمتها بالضغط الكهربائي المطبق على حدودها . واختراع هذا الديود ناتج أيضاً عن أعمال جرت من أجل تطوير الرادار . ولتفسير ظاهرات رصدت منذ سنة 1940 ، كان لا بد من التفكير بأن المقومات ذات الرأس بالنسبة إلى التواترات العالية ، يجب أن تكون ذات طاقة غير خطية : وعلى اثر اعمال قام بها باكانوفسكي Bakanovski سنة 1954 حول استخدام هذه الطاقات ، في مغيرات التناوب ، قام أوهلير بدراسة الديودات التي منها صنعت المضخمات المعيارية الاولى ، مضخمات التواتر العالي .

هذه الاجهزة التي درست ابتداء من سنة 1957 في العديد من المختبرات وصلت إلى المرحلة التجارية منذ سنة 1960 ، وفي سنة 1956 قدم مانلي Manley ورو Rowe نظرية التضخيم المعياري ووضعا المعادلات التي تحكم توزيع الطاقة بين التواترات المختلفة المعمول بها في وسط غير خطي وغير تفتيتي . أما الطاقة الضرورية لتضخيم الاشارات فلا تنتج فيها عن مصدر تيار مستمر كما هو الحال في المضخمات ذات الانابيب وذات الترانزيستور ، بل من قبل مصدر امتصاصي ذي تواتر عالٍ : وتتقاسم المضخمات المعيارية هذه الخصوصية مع المازرات ذات المستويات الثلاثة وهي تدخل أحياناً المقاومات السلبية في الاطواق أو أنها تحدث تغيرات في التواتر . وهذه المميزات تقتضي تكيفاً لنظرية الشبكات الكهربائية : وهذا التكيف اجراه هوس Haus وادلر Adler سنة 1958 .

وتكمن فائدة هذه المضخمات ذات الارتداد غير الخطي في امكانية الحصول على درجة

حرارة ذات ضجيج ضعيف حتى في درجة الحرارة العادية ، إذ يمكن تخفيض العناصر المقاومة إلى اقصى حد ، فهي مصدر الضجيج : وقد تم تحليل هذه الفكرة من قبل هافنير Heffner وواد Wade اللذين حسبا درجة حرارة الضجيج الادنى في المضخمات المعيارية سنة1958 . وعلى الصعيد العملي تم الوصول إلى درجات حرارة لضجيج من عيار 300° K : وهذه الانجازات كانت افضل بقليل من انجازات الانابيب ولكنها اقل جودة من انجازات المازرات .

ويوجد أيضاً مضخمات معيارية أخرى . في نيسان سنة1957 اقترح سوهل Suhl صنع مضخم باستعمال الظاهرات غير الخطية في الحديديات : وقد وصف الانجاز التجريبي من قبل م . ت . ويس Weiss في تموز 1957 . ورغم استمرار الدراسة حوله فإن النتائج الحاصلة في ذلك الوقت كانت أقل جودة من النتائج التي حققتها الديودات ذات الايصال النصفي . ومستقبل هذا المضخم يتعلق بالتقدم الذي يحققه الفيزيائيون حول الجامد المستعمل في صنع الاجهزة المغناطيسية مثل الحديديات أو الحجارة الصوانية . وتم أيضاً صنع مضخمات معيارية ذات ضمة من الالكترونات (أنظر لاحقاً) .

ولا يعتبر ظهور هذه الطبقة من المضخمات إلا مظهراً من مظاهر استخدام الظاهرات غير الخطية المعثور عليها في المجالات الأكثر تنوعاً . ويقدم الميكانيك كثيراً من الامثلة حولها : وأبسط هذه الامثلة هي الارجوحة التي يمكن زيادة مجال تأرجحها بفضل تنزيل مركز الثقل عند النزول ورفعه عند الصعود مما يشكل « امتصاصاً » ذا تواتر مزدوج في تأرجحات الارجوحة . وفي القرن التاسع عشر تم أيضاً درس الحث المعياري للذبلبات فوق سطح سائل (فراداي ، سنة 1831) ، وفوق وتر مرتجف (ميلد 1859, Melde) . واستخدمت العناصر غير الخطية منذ بداية البث الكهربائي ، كلاقطات ومغيرات للتواتر . وبُعيد 1913 استخدمت الحاثات غير الخطية كمغيرات أو معدلات ، في معدات البث ذات القوس وذات المغيرات التناوبية . ولوحظ أن هذه الحاثات تحدث ، ليس فقط ، تغيراً في التواتر بل أيضاً تضخيماً ، مما حمل الكسندرسون Alexanderson على تسميتها « بالمضخمات المغناطيسية » . وتم التخلي عنها كمعدلات ، نتيجة التقدم في مجال انابيب الفراغ ولكنها بقيت كمضخمات وشاع استعمالها في الآلات المضاعفة القوة . وقبل سنة1940 درس هارتلي ولادة التأرجحات في الاطواق الكهربائية غير الخطية . ومن أجل استخدام هذه الحاثات كان لا بد من انتظار صنع عناصر غير خطية ذات استعمال سهل من الناحية التقنية : وأدّى التقدم في الموصلات النصفية إلى حل هذه المسألة .

نجاح وحدود نظرية استعمال الالكترونات في الجوامد ـ إن الاكتشافات التي ذكرناها والتي انعكست آثارها في حياتنا اليومية تدل على خصوبة نظرية الموصلات النصفية . فهذه النظرية تفسر، من الناحية النوعية على الأقل ، الخصائص التوصيلية النصفية في الأجسام البسيطة مثل الجرمانيوم والسليسيوم (الصوان) ، وفي بعض الاوكسيدات وغيرها من المركبات ، وخاصة مزائج من عناصر من المجموعتين الثالثة والخامسة في جدول مندليف مثل زرنيخات الغاليوم والانتيموان مع الانديوم .

وهذه النظرية تحدد الكميات التي تميز مادة معينة ، وبعد قياس هذه الكميات تتيح استباق

معرفة خصائصها الكهربائية في شتّى الظروف . وباستعمال الميكانيك التأرجحي ، بناء لحسابات هي في الغالب طويلة ومعقدة، يمكن التوصل في بعض الحالات إلى حساب ضمم الطاقة ، والمستويات المرتبطة بالشوائب ، وتحرك الالكترونات والثقوب في موصل نصفي .

إلا أن هذه النجاحات يجب الا تخفي الصعوبات خاصة وأن هذه الصعوبات يمكن أن تكون مصدر تقدم جديد . وهكذا يكون التوافق بين النظرية والتجربة في أغلب الاحيان نوعياً أكثر مما هو كمياً . ووجود موصلات نصفية سائلة أو عديمة الشكل يطرح مسألة صعبة لان كل النظرية الحالية ترتكز على دورية الشبكة البلورية . وقد لاحظ رجيل Regel ومعاونوه بان الخصائص الكهربائية في بعض الموصلات النصفية لا تتلقى انقطاعاً عند نقطة الذوبان . وبالمقابل ، عند ذوبان الجرمانيوم ، فإنه يصبح موصلاً في حين يصبح السلينيوم عازلاً . وفي ضوء هذه الوقائع التجريبية اقترح يوفي Ioffé أن ترتيب اقرب جيران ذرة يلعب دوراً أكبر في تحديد الخصائص الكهربائية في جسم ما أكثر مما يلعب توزيع الذرات المتباعدة في ما بينها . من هذه الرؤية يكون من الافضل تفسير تشكل الاشرطة بفعل التفاعل بين الذرات المتجاورة أكثر مما هو بفعل الدورية البلورية : ومن جراء تفسير الدورية لبنية الاشرطة ، لا يمكن الاستنتاج بأن كل جسم ممثل لأشرطة من الطاقة يتميز بتوزيع دوري في الذرات . وسنداً لهذه الفكرة قام ج . ب . سوشيه Suchet سنة1961 ، بدراسة تأثير الروابط الكيمائية على خصائص الموصلات النصفية ، وبصورة خاصة على التحركات الالكترونية . وبين أن التوصيلة النصفية الداخلية ترتدي مظاهر مختلفة باختلاف طبيعة الروابط بين الذرات وقد طبق هذه التوصيلية النصفية على العديد من المركبات الثنائية والثلاثية . وإنه من الباكر الحكم على نتائج مثل هذه النظرية : إلا أنها تدل على توجه مهم في فيزياء الموصلات النصفية .

وليس من الغريب أن تكون النظرية الحالية حول الالكترونات في الجوامد ، غير كافية أحياناً لأنها مرتكزة على سلسلة من التقريبات . والدراسة الدقيقة للجوامد ، في ضوء الميكانيك التموجي تقتضي بآنٍ واحد معالجة مجموعتي الالكترونات والنوى كلاً على حدة : وهذا هو التقريب الذي قدمه بورن Born وأوبنهمير Oppenheimer أو ما سمي بالتقريب الثبوتي الحرارة . ولدراسة مستويات الطاقة الالكترونية يتوجب عندها حل معادلة شرودنجر بالنسبة إلى كل الالكترونات وذلك بأن ندخل فيها الطاقة الكامنة بفعل التفاعل بين كل الكترون وبين النوى المفترض ثبوتها وبين الالكترونات في ما بينها . ولما كان هذا الحد الأخير ما يزال معقداً جداً ، جربت تقريبات أخرى : وأكثرها شيوعاً هو تقريب النموذج ذي الالكترون الواحد والذي قدمه هارتري Hartree ، ويقوم على دراسة حالات الطاقة الممكنة بالنسبة إلى الكترون واحد موضوع داخل زخم النوى ، في حين لا تتدخل الالكترونات الأخرى الا بزخمها الوسطي ، المحصول عليه بواسطة طريقة الحل « المتماسك ذاتياً » في الميكانيك الكانتي أو الكمي . ويتيح تقريب هارتري تقريباً تفسير كل خصائص الجسم الجامد باستثناء قوى التماسك . إلا أنه يؤدي إلى دالات (وظائف) في الموجة لا تتوافق مع مبدأ الاستبعاد الذي قال به بولي . وتلافياً لهذا النقص الأخير ، عدل فوك Fock تقريب هارتري : وللأسف ، ورغم أن هذا التعديل يفسر بشكل أفضل تماسك الجوامد وأنه من الناحية النظرية أكثر إرضاء ، تبقى نظرية هارتري ـ فوك صعبة التطبيق على بعض الخصائص ، وخاصة الحرارة النوعية الالكترونية .

ويمكن أن يؤخذ على هذه النظريات التبسيطية أنها في أغلب الاحيان غير مبررة . خاصة في الشبكة الكاملة عند الصفر المطلق حيث لا تدخل النوى في دراسة الالكترونات إلا من أجل اقرار دورية الطاقة الكامنة . وفي درجات حرارة أكثر ارتفاعاً ، تعالج حركة الايونات على حدة ، ويدل عليها وجود الفوتون . وتعتبر هذه الاخيرة وكأنها ارتباكات صغيرة في نظرية التوصيل الكهربائي . واعطاء دور أساس أكبر للتفاعلات بين الالكترونات والفونون يمكن من مشاهدة امكانية حل مسألة التوصيلية الفائقة .

التوصيلية الفائقة ـ كشفت التوصيلية الفائقة في سنة1911 عندما لاحظ كامرلنغ أونس المقاومة في الزئبق تزول بعنف في الدرجة 4,2°K ومظهرها الأكثر بروزاً هو استمرارية تيار في حلقة فائقة التوصيل لمدة عدة أيام ، دونما حاجة إلى عونٍ خارجي من الطاقة ، للمحافظة عليه : وتمت التجربة ، مع وجود تيار مغناطيسي خارجي ، بتبريد حلقة من الزئبق تحت درجة حرارة حساسة T. (درجة حرارة الانتقال بين الحالة العادية والحالة الفائقة التوصيل) ، وعندما نلغي الحقل الخارجي يحدث ، بفعل الحث، تيار داخل الحلقة ، ويمكن اكتشافه بفضل الحقل المغناطيسي الذي يحدثه هذا التيار . في سنة1913 ، لاحظ كامرلنغ أونس أن التوصيلية الفائقة تتوقف عندما يتجاوز الحقل المغناطيسي قيمة معينة تتعلق بدرجة الحرارة .

وفي حوالي سنة1930 ، تم تبين أن الحرارة النوعية الالكترونية تتلقى انقطاعاً عند الانتقال من حالة التوصيل الفائق في حين أن القصور الحراري يبقى مستمراً . هذه الواقعة تميز الانتقالات من الدرجة الثانية مثل الانتقالات في حالة الانتقال من المغناطيسية المتوازية إلى المغناطيسية الحديدية ومثل التحولات من الانتظام إلى الفوضى ، في المزائج . وتطبيق الحرارة المتحركة بفضل كيسوم وورود جرس وغورتر اتاح توضيح العلاقة بين مختلف الخصائص وبين أن حالة التوصيل الفائق هي حالة أكثر انتظاماً من الحالة الطبيعية . وأدّى تطبيق الحرارة المتحركة (ترموديناميك) إلى نموذج المائعين (غورتر وكازيمر ، 1934) ، وهو النموذج الذي يتخذ كأساس تواجد الكترونات فائقة التوصيل مع الكترونات عادية ، وهذه الالكترونات الاخيرة تظهر في التوصيلية الحرارية وفي الحرارة النوعية الالكترونية .

وقدمت أول نظرية ظاهراتية حول الخصائص الكهردناميكية من قبل ف . هـ . لندن London سنة 1934 وانطلقت هذه النظرية من ملاحظة جرت سنة 1933 على يد ميسنير وأوكسنفيلد : يكون الحث المغناطيسي معدوماً داخل موصل فائق يبدو كأنه يعمل كعادم مغناطيسي كامل .

هذه الملاحظة الثابتة تناقض النتيجة الحاصلة من جراء تطبيق معادلات ماكسويل حول الكهرمغناطيسية ، على جسم ذي توصيلية لا متناهية : إذ تبين أن الحث المغناطيسي لا يتغير فيه مع الزمن . ولكي يأخذ لندن بهذه الواقعة فقد استبدل قانون أوهم الذي يعطي التيار الكهربائي بقانون يعبر عن نسبية التيار في التوصيلية الفائقة ، إلى الزخم السهمي في الحقل المغناطيسي . واستنتج من ذلك أن الحث المغناطيسي الثبوتي لا يمكن أن يتسرب إلى داخل موصل فائق إلا في عمق ضعيف جداً من عيار 10^{-5} سم .

وحتى هذه السنة الاخيرة بقيت كل المحاولات للعثور على تفسير ميكروسكوبي للتوصيلية الفائقة بدون جدوى . في سنة1950 لاحظ علماء عديدون أن درجة الحرارة الخساسة تتغير ، عندما نغير التركيب الايزوتوبي (النظيري) في الجسم وفقاً لقانون بسيط يعبر عن ثبوتية الخصيلة $M^{1/2}T_0$ (الكتلة الذرية = M) : وهذه الظاهرة تثبت دور الايونات وبصورة ادق دور ذبذبات الشبكة أي دور الفوتونات . ويتأكد هذا الدور بفعل أن افضل الموصلات الفائقة هي موصلات سيئة في درجة الحرارة العادية ، أي أنها أجسام يكون فيها تفاعل الالكترونات والفونونات مهماً . وهذا التفاعل يتوافق مع نظرية ميكروسكوبية حول حالة الموصل الفائق ، وهي نظرية وضعها بشكل مستقل فروهليخ Fröhlich سنة1950 . هذه النظرية تظهر ، بفعل تفاعلات الالكترونات والفونونات ، حداً جديداً للطاقة في معادلة شرودنجر التي تحكم حركة الالكترونات . وهذا الحد يساوي جذباً في فضاء العزوم أي أنه يعمل على تركيز سرعات الالكترونات في اتجاهات متجاورة . ومن وجود هذا الحد استنتج فروهليخ المفعول الايزوتوبي (النظائري) ولكنه لم يعثر على كل الخصائص المميزة للموصلات الفائقة .

الحدث التجريبي الأكثر أهمية في السنوات الأخيرة كان ابتكار شريط ذي طاقة محظورة في الموصلات المتفوقة . هذا الشريط المحظور يظهر من خلال الواقعة التي مفادها أن الموجات الكهرمغناطيسية ذات التواتر المنخفض تنعكس بواسطة موصل متفوق في حين أنه تُمْتَصُّ التواترات العالية ، والانتقال بين الظاهرتين يتم ضمن سلم الموجات المليمترية .

وتفسر هذه الظاهرة بملاحظة أن الفوتون لا يستطيع اثارة الكترون لاجباره على اجتياز الشريط المحظور ذي الارتفاع البالغ ΔE إلا إذا كان تواتره يزيد على νo ($\nu o = \Delta E/h$) .

في سنة1957 ، استطاع باردين Bardeen وكوبر Cooper وشريفر Schrieffer التوصل إلى استعادة ، نظرياً ، وجود هذا الشريط ، بعد النظر ، بآنٍ واحدٍ ، إلى التفاعلات بين الالكترونات والفونونات ، والتفاعلات الكولومبية بين الالكترونات التي كان فروهليخ قد اهملها . واستطاعوا اثبات أنه ، عند الصفر المطلق ، يظهر شريط محظور واقع عند مستوى فيرمي ، داخل الشريط العادي للتوصيل : وعرض هذا الشريط المحظور يتقلّص عندما ترتفع درجة الحرارة لكي يزول عند الحرارة الحرجة وانطلاقاً من وجود هذا الشريط ، تتجلى امكانية تفسير مختلف خصائص الموصلات المتفوقة ، ولكن النظريات ما تزال في طور التكوين . وما تزال تبرز احداث جديدة تجريبية : من ذلك أنه في سنة1962 ، أثبت باحثون كثيرون تكميم الدفق المغناطيسي داخل حلقة متفوقة : فالتفاعلات الجذبية بين الالكترونات والفونونات يجب أن تنتصر على التفاعلات الدافعة التي قال بها كولومب (Coulomb) . في نظرية باردين ، يرتدي هذا المعيار الشكل البسيط $n\rho > 10^{6}$.

ونظراً للدور المهم الذي تلعبه الالكترونات والفونونات ، فليس من المستغرب ظهور المقاومة ρ في الموصل عند الدرجة 20 °C . وتدخّل العدد الوسط n من الالكترونات ذات التكافؤ بالذرة يتوافق مع معيار معين تجريبياً من قبل ماتياس (Matthias) سنة1957 .

وأتاحت أهمية المعارف المتوفرة حديثاً توجيه البحث عن معدات جديدة متفوقة التوصيل ذات درجة حرارة حرجة أعلى وتقبل زخومات أقوى في التيار في حالة الموصل المتفوق . وأتاح اكتشاف المركبات أمثال الخلائط نيوبيوم ـ زيركونيوم ، نيوبيوم ـ قصدير ، وحديثاً أيضاً ، فاناديوم ـ غاليوم ، الحصول على حقول مغناطيسية ذات عدة عشرات الألوف من الاورستيدات بواسطة ملفات لولبية فائقة التوصيل : هذه المركبات فتحت باب الأمل في بلوغ عدة آلاف من الاورستدات بخلال سنين قليلة . وأخيراً هناك تطبيقات أخرى للموصلات المتفوقة مرتقبة : من ذلك انجاز ذاكرات لحاسبات الكترونية يشكل الكريوترون (Cryotron) أول نموذج لها .

ودلَّ التقدم الحديث في الفيزياء المتعلقة بالموصلات المتفوقة على ما يمكن أن تقدمه نظرية أكثر دقة حول الكترونات الاجسام الصلبة . إن التفاعلات الكولومبية بين الالكترونات ، والتي تدخل في نظرية باردين وكوبر وشريفر ، يمكنها أيضاً أن تحدث تأرجحات بلاسما (Plasma) في الجوامد تشبه تلك التي درسها لانغموير في التفريغات الغازية . ودورها مهم في نظريات بوهم Bohm وبينس Pines وبوغوليوبوف Bogoliubov التي سنأتي على ذكرها ، بعد أن نكون قد استعرضنا تجدد الفيزياء في الغازات المؤينة [المحثوثة بالايونات] منذ 1950 .

IX ـ تجدد فيزياء البلاسما

بعد أعمال لانغموير استمر العديد من الباحثين بالاهتمام بالغازات المؤينة . إن التطبيقات العملية ، مثل المقومات ولمبات الضوء ذات التفريغ الغازي ، قد غذت دراسة تفاعلات أساسية (التأيين، واعادة الدمج . . الخ) . وانابيب التبديل الراداري ادت إلى الدراسة المنهجية للتفريغات التي تثيرها الحقول ذات التواتر العالي : فقدم م . هـ . مرلين Merlin وس . ك . بروان Brown نظريتها سنة1948 . ومنذ اكتشاف الطبقة الفضائية المؤينة ، فإن دراسة تأثيرها على انتشار الموجات قدمت خدمة لنظرية الغازات المؤينة . وأخيراً اهتم الفيزيائيون الكواكبيون ، منذ مدة طويلة ، بالغازات المؤينة ، لان القسم الاكبر من الكون مؤلف من بلاسما ، وبصورة خاصة جداً الكواكب : وكان لهم الفضل بإيجاد فرع جديد في نظرية البلاسمات هو فرع « المغناطيسية في السوائل المتحركة » .

وعرفت دراسة الاوساط المؤينة تطوراً مشهوداً ، منذ سنة1950 . إن عودة الاهتمام ترد بالدرجة الاولى إلى اهمية برامج البحوث المجراة حول الالتحام الحراري النووي المراقب الملجوم ، بغرض تدجين طاقة القنبلة الهيدروجينية . فالالتحام الملجوم الذي يحدث على الكرة الارضية نفس العمليات التي بموجبها تولد طاقتها ، يتم في اوساط ذات درجات حرارة عالية جداً ، وبالتالي كاملة التأيين : فمن أجل الحصول على تفاعل حراري نووي ، لا بد من وجود بلاسما ذات كثافة تأيينية من عيار 10^{15} جزئية في السنتيمتر المكعب الواحد ، ودرجة حرارة تأيينية من عيار مئة مليون من الدرجات ، في حين يوجد في الشحنة الغازية العادية كثافة الكترونية من عيار 10^{11} الكترون في السنتميتر المكعب الواحد ، وذلك في درجة حرارة الكترونية من عيار $20000°$ ، في حين تكون درجة الحرارة المؤينة أقلّ بكثير . وبيَّن فشل المعدات التجريبية الاولى المحققة من

أجل محاولة الحصول على الالتحام الملجوم ، عدم كفاية معارفنا حول الاوساط المؤينة وأوصل الباحثين إلى الالتفات إلى فيزياء البلاسمات .

وقدمت البحوث الفضائية حافزاً آخر . فقد رؤي في بادىء الامر أن الصواريخ تحيط نفسها بغلاف مؤين عند دخولها إلى الفضاء ، مما يعيق بشكل كبير اتصالاتها الراديو كهربائية مع الارض . وتم التفكير أيضاً في تحقيق الدفع الايوني للصواريخ والاقمار الصناعية . وأخيراً دلت هذه الوسائل الجديدة لاستكشاف الفضاء على وجود احزمة مؤينة حول الارض (احزمة فان آلن Van Allen) ؛ واعلمتنا أن الاينوسفير (الطبقات المؤينة) تمتد إلى ابعد مما كان يعتقد ، وقدمت امكانية الذهاب مباشرة إليها لقياس خصائصها . ولتقدير تنوعية البلاسمات الفضائية ، نذكر أن الاينوسفير تحتوي تقريباً على 10^6 الكترونات بالسنتميتر المكعب الواحد ، بدرجة الحرارة التي تبلغ الفي درجة تقريباً ، في حين أن جوف الكواكب القزمة البيضاء هو بلاسما ذات 10^{32} من الالكترونات بالسنتيمتر المكعب الواحد ، بدرجة حرارة تبلغ مليوني درجة .

المغناطيسية السائلة المتحركة (La Magnétohydrodynamique) ـ من أجل تفسير خصائص الاحجام الضخمة من البلاسما الموجودة في الكون نشأ علم المغناطيسية السائلة المتحرّكة (Magnétohydrodynamique) . إن هذا العلم يطبق على وسط موصل للكهرباء ، سواء كان الوسط سائلا أم غازا مؤينا . وإذا اعتبرنا الوسط متصلاً مستمراً ، فإن هذا يطبق عليه معادلات ميكانيك الموائع . وبشكل عام تماماً انه يدرس حركة مائع موصل في حقل مغناطيسي .

ويميزه كولنغ Cowling كما يلي :

« إن التيارات الكهربائية المثبوتة في المائع المتحرك تغيِّر الحقل ، في حين أن دفق هذه التيارات في الحقل يولد قوى ميكانيكية تغير الحركة . وتقوم فائدة وصعوبة علم « المغناطيس السائل المتحرك » بالضبط ، على التفاعل بين الحقل والحركة » (كولنغ T.W. Cowling Mganetohydrodynamics) .

وللتثبّت من هذه الخصائص ، يجري استكمال معادلات ميكانيك السوائل بمعادلات مكسويل ، مع اهمال تيار التنقل عموماً ، إذ لم يكن الاهتمام منصباً على ظاهرات التواتر العالي .

وبنيت على هذه القواعد خصائص مهمة للحقل المغناطيسي . في المادة الساكنة ، هناك انتشار للحقل المغناطيسي ، ويتمّ هذا بسرعة أكبر كلما كان الوسط صغيراً : وسنداً إلى كولنغ Cowling والساسر Elsasser ، يكون وقت الانتشار أقل من عشر ثوانٍ بالنسبة إلى كرةٍ شعاعها متر ، في حين يكون 10^{10} من السنوات بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي الشمسي الكامل . وأيضاً ، تجر المادة ـ في الكتل الكونية التي تبدوكموائع كاملة التوصيل ومتحركة ـ خطوط القوى المغناطيسية التي تبدو وكأنها متجمدة فيها . وقد استخدمت هذه الخصائص من أجل وضع نظرية الحقول المغناطيسية الارضية والكواكبية .

هناك قسم مهم من هذا العلم مخصص لدراسة حالات التوازن والاستقرار . ومن الامثلة على ذلك دراسة توازن البقع الشمسية على يد الفين (Alfvén) (1943) ودراسة الاذرع الحلزونية في

المجرات من قبل شندرا سيخار Chandrasekhar وفرمي Fermi (1953) .

في سنة1942 ألفين في اطار المغناطيسية السائلة المتحركة أن موجات اعتراضية ذات تواتر منخفض جداً يمكنها أن تنتشر في البلاسما بوجود حقل مغناطيسي . فالحقل المغناطيسي يحدث بهذا الشأن توتراً على طول خطوط القوى ، وينتج عن ذلك ، كما هو الحال في نظرية الاوتار الشديدة الحساسية ، انتشار للموجات على طول هذه الخطوط . وتمّ اثبات وجود هذه الموجات بصورة تجريبية على يد لندكيست Lundquist ولهنرت Lehnert اللذين استعملا الزئبق كسائل موصل ، وعلى يد بوستيك Bostick بمساعدة ليفين Levine كغاز مؤين .

وأدت البحوث من أجل استحداث التلاحم الحراري النووي الملجوم إلى صنع اجهزة مخبرية تعود دراستها إلى المغناطيسية السائلة المتحركة . وللحصول على كثافة قوية في البلاسما بدرجة حرارة مرتفعة جداً ، كان لا بد من تجنب كل تماس مع الجوانب حيث تبرد البلاسما واعادة دمج . ولهذا تمّ السعي إلى حبس البلاسما في قنينة غير مادية مكونة من خطوط قوى مغناطيسية ، أي موازنة ضغط المادة بضغط مغناطيسي . وأول فكرة كانت تقوم على تحقيق بلاسما بشكل شحنة غازية ذات كثافة قوية جداً ثم استعمال الحقل المغناطيسي المحدث بفعل التيار في البلاسما من أجل حصرها : وكان من السهل رؤية القوة المسلطة على الشحنات المتحركة وهي تحدث فعل « القرص » قرص التفريغة (La décharge) . وسرعان ما بدا أن هذا الاثر غير كاف لحصر بلاسما حرارية نووية . فقد ظهرت البلاسما كموجود ذي نزوات وغير منضبط ، بدلاً من أن يتخذ اشكالاً بسيطة اسطوانية أو برجية ، فإنه يتخذ اشكالاً أكثر تميّزاً كمناطيد مغزلية رشيقة ، أو كمرفق أو مروحة : ويفسر علم المغناطيسية السائلة المتحركة هذا السلوك ويقدم معايير للاستقرار قد نفذت في الات جديدة حرارية نووية مثل « الستلاراتور » Stellarator والآلات ذات المرايا المغناطيسية .

وفي حين استمرت هذه البحوث حول التلاحم تم تقديم مولّدٍ من نمط جديدٍ من أجل التحويل المباشر للطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية : وعرف تحت اسم مولّد م . هـ . د . M.H.D (مانيتو ـ هيدرو ـ ديناميك) . من المعلوم أن حقلاً مغناطيسياً يولد قوى باتجاه معاكس على الالكترونات والايونات الايجابية في البلاسما المتحركة . وتستخدم هذه الخاصية من أجل فصل الالكترونات عن الايونات في بلاسما مقذوفة بسرعة كبرى ، ومن أجل احداث تيار كهربائي ضمن حلقةٍ مستخدمة . وهناك العديد من الاعمال الجارية لتحقيق إلمولد م . هـ . د . الذي ينتج عن تطبيق قوانين الحث في وسط ايوني متحرك ، كما هي القلابات الكلاسيكية تطبيقاً لها على المولدات الجامدة .

النظرية الميكروسكوبية حول البلاسما ـ في حين يبدو علم المغناطيسية السائلية المتحركة ، أساساً ، نظرية عيانية ، يعتبر فيها الغاز المؤين كسائل متصل متميز بثوابت مثل اللزوجة والتوصيلية ، فإن نظرية أكثر عمقاً تحاول أن تفسر خصائص البلاسما بالدراسة الجامدة لأواليات تحدث على الصعيد الميكروسكوبي .

فالغاز المؤين يعرف عندئذٍ وكانه يحتوي ، من جهة على جزيئات حيادية ، ومن جهة

اخرى ، على إلكترونات وعلى ايونات ذات شحنة كهربائية معدومة . في الظروف الاستعمالية لا تكون بلاسمات الغاز المؤين منحلة بمعنى النظريات الكَنتية والإحصاء الكلاسيكي يشكّل مُقاربة كافية لدراستها . ويعرف الميكانيك الإحصائي ، بشكله الاكثر تطوراً ، حالة هذا النظام من الجزيئات من خلال نقطة من فضاء ذي عدد كبير من الابعاد ، فيعطي مواقع وسرعات كل جزيء ، أي (6N) ابعاد لـ N من الجزيئات . وتطور النظام في الزمن يوصف بواسطة معادلة ليوفيل Liouville في الميكانيك التحليلي . وبيّن كل من بوردن ، وغرين ، وكيركود ، وبوغوليوبوف وايفون ، ابتداء من سنة1946 ، كيف يمكن استخلاص معادلة تطورية بالنسبة إلى مقدار أكثر بساطة ، عندما لاتُعْمِلُ دالة إلا احداثيات السرعة والموقع لجزيء واحد ، وكذلك الوقت . وتدخل هذه المعادلة التفاعلات القريبة بين الجزيئات . في حالة الغازات المجردة ، يتعلق الامر بمعادلة بولتزمان التي وضعت ، في الماضي ، بشكل أقل دقة ، والتي عرضنا لها أيضاً في نظرية الالكترونات الحرة في المعادن ، بحسب رأي لورنتز . وتطبّق نفس المعادلة أيضاً على الكترونات الغاز قليلة التأيين حيث يسيطر تصادم الالكترونات والجزيئات الحيادية . ويُستنتج من ذلك توصيليتها الكهربائية تبعاً لتوتر الحقل الكهربائي المطبق مع المعادلات العيانية : الاحتفاظ بعدد الجزئيات (معادلة التواصل في ميكانيك الموائع) ، حفظ كمية الحركة ، معادلة نقل الحرارة. في الواقع ، بدت دراسة مؤثر الاصطدامات عند بولتزمان معقّدة للغاية . حتّى في حالة غاز لورنتز الكامل ، أي النموذج النظري حيث تعتبر كتلة الجزيئات كبيرة للغاية إذا قيست بكمية الالكترونات (إن هذا النموذج قد ادخل سنة 1905 من قبل لورنتز في دراسة التوصيلية الكهربائية في الجوامد) . ويمكن أن نبين أن رمز بولتزمان يقبل كدالات خاصة الدالات الكروية ، وهي اسرة من الدالات ذات مؤشرين بتوافقان مع تباين الخواص قوي للغاية بمقدار ارتفاع المؤشرات . وبالانطلاق من دالة توزيع كيفي للالكترونات في فضاء السرعات ، تبين عندها أنه بفضل التصادم مع الجزيئات المفترضة في حالة توازن حراري ، يتلاشى تباين الخواص في الزمن : عند التوازن تتوزع الالكترونات بشكل توافقي . ويتميز كل تباين بفترة استرخاء أو بنقيضها وهو ما يسمى « تواتر الاسترخاء » . وبالنسبة إلى قانون تفاعلي مجرد بين الالكترونات والجزيئات أن تواتر استرخاء التباين في الصفات الابسط هو الذي يولد مفهوم التواتر الاصطدامي : وهذا المفهوم هو الذي يتدخل في عبارة التوصيلية .

في نموذج غاز لورنتز الكامل يعتبر كل توزيع موحّد الخواص للسرعات توزيعاً متوازناً لان الصدامات لا تغير طاقة الجزيئات بل وجهة سرعتها فقط . ولرؤية كيفية تطور القسم الموحد الخواص في دالة التوزيع ، يتوجب الاخذ في الاعتبار أن العلاقة m/M أي علاقة كتلة الالكترونات على كتلة الجزيئات ، ليست معدومة ، رغم صغرها (نموذج غاز لورنتز غير الكامل) . في هذه الحالة نجد أن توزيع السرعات المتطابق مع التوازن الحراري ، هو التوزيع الماكسويلي عند درجة حرارة الجزيئات .

وفي التفريغات الغازية ، نجد عادة أن الالكترونات تمتلك توزيعاً مكسويلياً للسرعات عند درجة حرارة أعلى بكثير من درجة حرارة الجزيئات .

ولتفسير هذا الوقائع يتوجب تدخيل التفاعلات فيما بين الالكترونات : فطول مدى قوى

كولومب يفسر استقرار التوازن الحراري بين الالكترونات قبل أن تتوازن حرارياً مع الجزيئات ، وتكتسب الالكترونات درجة حرارة مرتفعة لان الحقل الكهربائي يعطيها طاقة قلما تضعف في الصدامات مع الجزيئات الاكثر ثقلاً منها بكثير .

ومن الصعب أيضاً أكثر وضع نظرية الغازات الكاملة التأيين التي تشكل البلاسمات الحرارية النووية . وبالفعل أن قوى التفاعل بين الجزيئات هي قوى كولومب التي تدخل صعوبات بسبب طول شعاعها العملي . في هذه الحالة يتم احصائياً وصف الصدامات فيما بين الخلايا بواسطة « مُعاملات الانتشار » التي ادخلها سنة 1943 ، شندرا سيكار في دراسة انتشار المجرات . ولهذا ينظر إلى حزمة من الجزيئات « السبرية » الواصلة إلى جزيئات مهدوفة ، ثم ندرس تباطؤها وتوزع سرعاتها . وانطلاقاً من معاملات الانتشار التي تميز هذه الظاهرات حدد سبيتزر ثوابت زمنية ـ زمن التباطؤ وزمن الانحراف ـ تحدد سرعة العودة إلى التوازن الحراري الديناميكي . وكذلك في البلاسمات كاملة التأين ، لا يمكن استخدام معادلة بولتزمان الذي يرى في الصدامات ظاهرات مزدوجة : ويتوجب استبدال هذه المعادلة بمعادلة مستخرجة من اعتبارات إحصائية خالصة ، معادلة فوكر ـ بلانك التي تدخل وتُعمل معاملات الانتشار . واستخدمت هذه المعادلة من أجل توضيح زمن إقرار توزيع ماكسويلي لسرعات الالكترونات (أو الايونات) نتيجة تفاعلها ذاتياً فيما بينها . واستنتج سبيتزر من ذلك التوصيلين الكهربائي والحراري في بلاسما كاملة التأيين .

وفي المسائل التفاعلية بين خلايا بلاسما ، فإن طول ديبي الذي التقيناه في نظرية الاجسام المنحلة بالكهرباء ، يلعب دوراً أساسياً . وفي الواقع أن هذا الطول يترجم الارتباطات بين مواقع الجزئيات التي درست بدقة من قبل إيفون بواسطة دالات التوزيع المتعدد الذي يستنتج تطوره من معادلة ليوفيل .

كل هذه النظريات الدقيقة المرهفة ليست فقط ذات فائدة نظرية . فهي تسمح بتوضيح المفاهيم العيانية مثل الضغط أو حركية الالكترونات والايونات ؛ وهي تعطي نتائج مفيدة حول التوصيلين الكهربائي والحراري وكذلك حول اللزوجة . وأخيراً انّها تقيم على اسس جدية المعادلات العيانية التي تبنى حولها نظرية الموجات داخل البلاسمات ونظرية المغناطيسية السائلة المتحركة .

الموجات داخل البلاسمات ـ رأينا أن لانغموير وتونكس قد بينا أن البلاسما يمكن أن تكون محلاً لتموجات الكترونية بتواتر سمي « تواتر البلاسما » ($f_p = 9000\sqrt{n}$) . وهذا التواتر يعبر عنه بالهرتز عندما يمثل n عدد الالكترونات في السنتيمتر المكعب . وبغياب الاضطراب الحراري ، لا تنتشر هذه التموجات داخل البلاسما ؛ ولكن على اثر الحركة البرونية في الالكترونات فهي تنتشر بشكل موجة طولية تسمى « الموجة الالكترونية » ، أو « موجة شحنة الفضاء » .

في سنة 1946 بين لاندو Landau ان الاضطراب الحراري إذا كان يؤمن نقل التموجات فإنه يحدث أيضاً تمويتها . وفي دراسة بعنوان : « نظرية ذبذبات البلاسما : اصل السلوك الوسط » (1949) ، أوضح بوهم وغروس ، بواسطة التحليل المجهري ، الأوالية التي تنسق بين حركة

الالكترونات والتي تولد سلوكاً جماعياً : في البلاسما تشكل قوى كولومب ذات الشعاع العملي الطويل نشأة هذه البلاسما في حين أن انتشار الموجات الصوتية في غاز أو في سائل هو مرتبط باصطدام الجزيئات الحيادية كما هو مربوط بالقوى الذرية الوسيطة ذات المدى القصير . وفي الموجات الالكترونية لا تتحرك الايونات . وبمقدار ما يمكن أن يكون للايونات سلوك جماعي ، توجد أيضاً تموجات ايونية في البلاسما : وينتج عن ذلك موجة ايونية تمثل في التواترات الدنيا سمات الموجة الصوتية .

إلى جانب هذه الموجات الطولية قد يوجد في البلاسما موجات اعتراضية تكون فيها الحركة التناوبية في الجزيئات وكذلك المكونات التناوبية للحقلين الكهربائي والمغناطيسي عامودية على اتجاه انتشار الموجة .

وتدخل هذه الموجات لتفسير التأيين الفضائي على انتشار الموجات الضوئية الكهربائية : وفي التواترات المستعملة هنا يمكن اهمال حركة الايونات ؛ ويُهمل أيضاً الاضطراب الحراري في الالكترونات . وبفضل هذه التقريبات وضع ابليتون وهارتري « نظرية المغناطيس المؤين في الفضاء المؤين » (1927-1932) . في النظرية الاولى حول انعكاس الموجات بواسطة الكرة المؤينة ، شبهه واتسون بكرة موصلة اما الاوالية المستعملة فكانت الانعكاس المعدني : ودراسة التوصيل في البلاسما تدل على أن هذه البلاسما ليست صحيحة إلا في الموجات الطويلة جداً ذات التوترات الاقل من تواتر التصادم بين الالكترونات والجزيئات . في سنة1912 اقترح اكليس Eccles إعمال الانكسار على طبقات عازلة ذات مؤشر متغير كما هو الحال في تفسير السراب . وقد اعتمدت وجهة النظر هذه بعد منشورات اعلن عنها لارمور سنة1927 . وفي هذا الشأن ، وفي التواترات التي تعلو تواتر الصدام تتصرف البلاسما كعازل مؤشر انكساره يساوي $1-f_p^2/f^2$ (f تساوي تواتر الموجة أما f_p فتساوي تواتر البلاسما) : اما بالنسبة للتواترات الأقل من f_p ، فالموجات لا يمكنها أن تنتشر وتنعكس بشكل كامل . وكون المؤشر أقل من الوحدة ، بعكس ما هو عليه الحال في مؤشر العازلات الأخرى ، يجد تفسيره سنداً لنظرية لورنتز حول العازلات : ففي العازل الحقيقي ، تستجلب الالكترونات نحو موقع توازني بفعل قوة استرجاع تفرض تواتراً متميزاً ؛ وفي البلاسما تكون الالكترونات حُرّة مما يعني أن هذا التواتر المتميز يكون التواتر الصفر

ووجود حقل مغناطيسي ثابت يعقد الظاهرات : وتصبح البلاسما متباينة الخواص وتكون ثابتتها العازلة مستبدلة بموتر عازل ادخله نيكولس وشيلنغ سنة1925 ، ويمكن أيضاً أن يعتبر كموتر توصيلي لانه يربط التيار العام بالحقل الكهربائي . وعندها نجد امكانية انتشار موجة عادية وموجة استثنائية بسرعات مختلفة مستقطبتين بشكل دائري وباتجاهين متعاكسين . وفي خصائص البلاسما هناك دور اساسي يلعبه التواتر رجع سيكلوتروني [السيكلوترون هو جهاز لتحطيم نواة الذرات] f_c ، أي التواتر الطبيعي لدوران الالكترونات حول خطوط القوة المغناطيسية (ونحصل على : $f_p = 2,8\,H$ ، باعتبار أن الحقل المغناطيسي H يعبر عنه بالأورستد Oersteds والتواتر f_c ، يُعبر عنه بالميغاهرتز) .

وإن نحن حسبنا حساباً لحركة الايونات التي تلعب دوراً مهماً في التواتر المنخفض ، عندها

يدخل تواتر سيكلوتروني ايوني . وفي التواترات الشديدة الانخفاض تجتمع الموجات العادية وغير العادية لتعطي موجة الفين في المغناطيسية السائلة المتحركة : ويكون لحركات الايونات وحركات الالكترونات اهمية متساوية في أصلها .

والدراسة التركيبية لهذه الانماط المختلفة من الموجات داخل البلاسما غير محدودة ، قدمها في سنة1960 دلكروا Delcroix ودينيس Denisse اللذان حسبا حساباً للاضطراب الحراري . ونظر هذان المؤلفان أيضاً في الحالة التي تكون فيها الموجات منتشرة في اتجاه منحنٍ بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي : ولا يعود هناك موجات خالصة أو عرضية خالصة بل تزاوج بين هذه الموجات المختلفة . وفي التقريب الذي قدمه ابلتون Appleton وهارتري Hartree ، وجدا الموجات شبه الطويلة وشبه العرضية التي ادخلها بوكر في نظرية الجو المؤين .

ودراسة الموجات في البلاسمات ذات الابعاد النهائية ، وفي البلاسمات الموجودة في المرشدات المعدنية المجوفة تبدو أكثر تعقيداً . من ذلك أن الموجات ليست على العموم مجرد « معترضة كهربائية » أو « معترضة مغناطيسية » كما هو الحال في المرشدات الكلاسيكية ذات التواترات العالية . وقد تمت دراستها بشكل متوازٍ مع دراسة الموجات في الحديديات ، وهي أوساط تتميز بموتر ذي نفوذية مغناطيسية ، في حين أن البلاسمات ذات موتر عازل . وبقيت الدراسة العامة تنتظر . ولكن نتائج مفيدة قد تمت بفضل و . ب . ألِس Allis وبفضل سمولين Smullin وكورني Chorney سنة1958 . وفي ذات السنة بيّن كُلٌ من ر . غولد Gould وتريفلبيس Trivelpiece أن المرشدات المعدنية المحتوية على بلاسما مع وجود حقل مغناطيسي يمكن أن ترشد الموجات البطيئة ، كما هو الحال بالحلقات ذات الانابيب ذات الموجة التصاعدية .

فضلاً عن تطبيقها على الانتشار الجوي المؤين ، وفضلاً عن دور الموجات الشاحنة الفضائية التي سنفصّلها فإن نظرية الموجات داخل البلاسمات وجدت تطبيقاً عملياً لها في الدراسة التجريبية حول البلاسمات ، مع الاستعانة بالموجات ذات التوتر العالي . إن تدابير الامتصاص والتغيير والانعكاس ، ودوران سطح استقطاب الموجات تشكل الوسيلة الاقوى في تحديد خصائص البلاسما .

اشعاع البلاسمات ـ إن البلاسمات لا تشكل فقط أوساطاً سلبية تنتشر فيها الموجات الكهرمغناطيسية ، فهي تستطيع تشعيع الطاقة بمختلف الاواليات : مفعول شيرينكوف ، تشعيع الكبح ، تشعيع الدوران المغناطيسي ، بث الضوء بواسطة الجزيئات المحثوثة بواسطة الاصطدامات .

في سنة1934 اكتشف شيرينكوف Cerenkov بث الضوء في سوائل موضوعية بجوار مصدر اشعاعي ناشط . وفي سنة1937 بيَّن فرنك Frank وتام Tamm ان « مفعول شيرينكوف » هذا سببه تشعيع جزئية مشحونة سرعتها اعلى من سرعة طور الضوء في الوسط الذي يقطعه هذا الضوء . وقد تحدث هذه الظاهرة في التواترات الكهربائية المشعة . وبين ج . موريه Mourier سنة1956 قرابتها ، في وسطٍ عازلٍ محدود ، إلى اوالية الانبوب ذي الموجة التصاعدية . وفي بلاسما

مجعولة متباينة الخواص بفضل حقل مغناطيسي تعرض هذه الظاهرة أوجهاً خاصة كانت قد درست سنة1956 من قبل كولومنسكي Kolomenskii وسيتينكو Sitenko . إن صيغ التشعع الكهرمغناطيسي في الكترون مكبوح ، قد وضعت من قبل ليتار Lienard سنة1898 ومن قبل ويشرت Wiechert سنة 1900 . وهي تتيح حساب تشعيع الكترون عند اصطدامه مع ايون وبالتالي مع القوة الكاملة المبثوثة بفضل كبح الالكترونات في بلاسما . في سنة1958 استعمل ترويتيكوف وكودريتسف Kudryatsev صيغ ليتار ـ ويشرت من أجل حساب التشعيع المغناطيسي الدائري أو التوجيهي في البلاسمات . وهذه الدراسة لها أهمية عملية لان خسارة الطاقة بفضل التشعيع تحد من إحماء الغيمات الذرية ومن البلاسمات الحرارية النووية .

وعندما تتوازن الكترونات البلاسما توازناً حرارياً ديناميكياً متميزاً بتوزيع مكسويلي لسرعاتها فإن التشعيع المنبثق عنها داخل حزام طيف هو تشعيع لجسم أسود . وخارج هذا التوازن فإن دراسة التشعيع الكلي للبلاسما تشكّل مسألة صعبة : وقد عولجت هذه المسألة سنة1961 من قبل بيكيفي Bekefi وهرشفليد Hirshfield وسانبورن Sanborn .

إن استحداث الضوء بفضل الايونات والجزيئات بواسطة الاصطدامات ، قد لفت منذ زمن بعيد انتباه الباحثين . وفضلاً عن فائدتها العملية تبدو دراسة هذه المسألة مفيدة من وجهة نظر الوسائل التجريبية في مباحث البلاسمات . وتحليل توسيع الخطوط الطيفية بواسطة مفعول دوبلر وبواسطة مفعول ستارك ، اتاح تحديد المزايا الاساسية في البلاسمات . وقد اضيف هذا التحليل ، إلى ما لدى المجرب من مخزون ، وإلى طريقة مسابر لانغموير واستكشاف البلاسما بواسطة الموجات القصيرة .

الموجات داخل ضمائم الالكترونات ، انابيب الذبذبات القصيرة والبلاسمات ـ رغم أن البلاسمات تتألف ، بالتعريف ، من جزيئات ايجابية ومن جزيئات سلبية تشكل جميعها وسطاً شبه حيادي كهربائياً ، فهناك خصائص مماثلة تتوجد في اوساط اخرى : منها مثلاً ضمائم الالكترونات .

والقرابة الاساسية مع البلاسمات تكمن في دور التموجات المشحونة في الفضاء . فهذه الموجات المسحوبة بالسرعة الوسطية لالكترونات الضُمة ، تعبر عن ذاتها بموجات شحن فضائي ، بيّن وجودها و . هاهن Hahn وس . رامو Ramo منذ 1939 ، وفي سنة1954 بين ج . ر . بيرس Pierce انه بالامكان استخلاص خصائص الأنابيب ذات الذبذبات العالية من دراسة لتزواج الموجات الأولية التي تنتشر فوق ضمة الكترونية وفوق خط . إن نظرية التزاوج هذه بين الموجات قد برزها هوس بواسطة طريقة تشويشية ، طبقت على حل معادلات مكسويل . وتشكل هذه النظرية أساساً لعدة طروحات حديثة حول تشغيل الأنابيب ذات الموجات العالية ، خاصة في المؤلفات الأنغلوسكسونية . وتعطي هذه النظرية آراء جديدة حول أواليات التضخيم وعدم الاستقرار . ويمكن بشكل خاص ، وصف ظاهرات تعديل السرعة ، وتعديل الزخم ، التي وجدناها عند البحث في الكليسترون [وهو أنبوب مفرغ لتقوية الذبذبات الكهرمغناطيسية] بواسطة موجات شحن الفضاء . وأتاحت هذه المفاهيم فهم أوالية الضجة في أنبوب الموجة التصاعدية . في

أطروحته لسنة 1951 افترض وتكنس Watkins أن التموجات والتعرجات التي يسببها البث الالكتروني تنتشر فوق الضمة بفعل موجات شحن الفضاء : وقد جرى التحقق من هذه النظرية عملياً . وحسنها الكثير من المؤلفين حتى أدت في سنة 1961 ، إلى انجاز أنابيب تصل درجة الحرارة لضجتها إلى حدود 300°K ، وذلك في موجات أطوالها عشرة سنتيمتر في حين كانت درجة حرارتها تقريباً في سنة 1950 : 300000°K ، وأتاحت هذه النتائج تحسيناً ملموساً في اللاقطات ذات الذبذبات المرتفعة ، مع وجود صعوبات عملية أقل ممّا هي عليه عند استعمال المازرات «Masers» أو المضخمات ذات الثوابت المعيارية .

إلا أن الاختصاصيين في انابيب الذبذبات العالية قاموا بحملة ، في مواجهة هجوم المضخمات ذات السرعة المنخفضة المرتكزة على تجهيزات من النوع الجامد . فقد تحكموا في وسط غير خطي هو الضمة الالكترونية التي من شأنها أن تتغير في الذبذبات العالية جداً . وكان أول اقتراح لاستخدام هذه الضمة في مضخ معياري اقتراحاً قدمه بريدجس في شباط سنة 1958 . وأتاحت التجارب التي اجراها كل من اشكين Ashkin ولويزيل Louisell وكوات Quate من أجل استخدام موجات شحن الفضاء ، الحصول على التضخيم دون الحصول على تخفيض في درجة حرارة الضجة . وبالمقابل باستعمال الرجع السيكلوتروني [السيكلوترون هو جهاز لتحطيم نوى الذرة] استطاع ادلر سنة1958 أن يصنع انبوباً عجيباً لا يتطلب الا توتراً مغذياً من عيار 6 فولت واعطى حرارة ضجة مقدارها 300° K تقريباً . ويمكن أن نعجب من كيفية حصول ذلك بواسطة الكترونات منبثقة من كاتود باعلى من 1000° K . الواقع انه في المضخمات المعيارية ذات الضمة الالكترونية ، يتم اولاً استخراج ضجة الضمة عند توتر الاستعمال . والضمة الالكترونية تكون عندها في حالةٍ بعيدة جداً عن حالة التوازن الحراري الديناميكي ، ولكن يمكن تعريف درجة حرارة الضجة الحرارية . ومن وجهة النظر هذه استطاع اسكين أن يُخفض درجة الحرارة في ضجة ضمة الكترونية إلى حدود 50°K ، انبوب معياري ذي موجة سيكلوترونية من أجل موجة طولها 7,5 سنتميتر .

إن انجازات آدلر وآشكين قد لفتت الانتباه إلى الرجع التحطيم لالكترونات ضمة غاطسة في حقل مغناطيسي ، وإلى وجود موجات مختلفة عن موجات شحن الفضاء هي « الموجات المحطمة » ، والتي هو الموازي للموجات الاعتراضية في البلاسمات .

وكما أن البلاسما قد تستخدم كدعامة لموجة بطيئة ، فبامكانها أن تحل محل الحلقة المروحية في انبوب ذي موجة متصاعدة . وبالفعل توصل كلفن غولد وتريفلبيس سنة1958 ، ثم العديد من المؤلفين ، إلى اثبات ظاهرة التضخيم ضمن نظام البلاسما ـ هي الضمة الالكترونية . واواليته قريبة من اوالية شغل انبوب مضخم اخترعه آ . هايف Haeff سنة1949 ، وفيه يتم التضخيم بتفاعلٍ ضمتين الكترونيتين مختلطتين ، إنما بسرعات مختلفة . ونرى أيضاً في هذه الظاهرة تفسيراً محتملاً لانتاج الموجات الضوئية الكهربائية ذات التواتر المنخفض في الفضاء الخارجي البعيد « إكزوسفير » وهذا الفضاء هو مصدر قلاقل واشعاعات داخل البلاسمات الحرارية النووية .

البلاسمات في الجوامد ـ رأينا النظرية المعتادة في الالكترونات الموجودة في الجوامد تهمل تقريباً بصورة كاملة تفاعلها الذاتي فيما بينها . وابتداءً من سنة1951 ، اعتمد بوهم وبينس Pines

وجهة النظر المعارضة فاعطياها دوراً أساسياً : وهذا الرأي بررته تفسيرات الظاهرات التي تتدخل فيها الشبكة البلورية تدخلاً خفيفاً .

ودراسة سلوك الكترونات الجامد سلوكاً جماعياً تعطي خصائص مختلفة عن خصائص الالكترونات داخل غاز مؤيّن : وفي الواقع تبلغ الكثافة الالكترونية في الجوامد 10^{23} إلكترون في السنتيمتر المكعب ، ودرجة الحرارة الالكترونية متدنية نسبياً (300°K) . ثم أن الالكترونات في الجسم الجامد تشكل غازاً « منحلاً » يجب أن يدرس من قبل الميكانيك الكمي . إلا أن الظاهرات ، من وجهة نظر نوعية ، هي من ذات الطبيعة كما في بلاسمات الغازات المؤيّنة .

والظاهرة الاكثر بـروزاً هي وجود ذبذبات جماعية . وبالنظر إلى الكثافة الالكترونية العالية فإن تواترات ذبذبات البلاسما تقع ضمن السلالم ما تحت الحمراء ، أو المضيئة أو فوق البنفسجية . أما كمية الطاقة hf_p المطابقة لمثل هذه الذبذبة فقد اعتمد لها اسم « بلاسمون » وهي تساوي تقريباً 10 الكترون فولت : ثم ان الاضطراب الحراري غير كافٍ لحثها . وبالمقابل ان حث ذبذبات البلاسما يفسر ظاهرة رصدت من 1941 من قبل روثمن : فالضمة من الالكترونات المسرعة بفعل بضع عشرات الآلاف من الفولتات ، قد تخسر ، وهي تجتاز غشاء معدنياً دقيقاً ، طاقات لا يمكن تفسيرها بفعل حث الالكترونات الفردية كما كان يجري في تجربة فرانك وهرتز . ومثل هذه التجارب أتاحت قياس طاقة البلاسمونات في الجوامد . وقد أمكن تحقيق ذلك ليس فقط بواسطة المعادن ، إنما أيضاً بواسطة الموصلات النصفية ، وحتى بواسطة العازلات .

والمظهر الآخر للسلوك الجماعي في الكترونات الجامد هو تشكيل غيمة ديبي حول كل الكترون : وتشكل هذه الغيمة شاشة كهربائية جامدة تحد من مدى قوات كولومب . إن قوات كولومب المخفضة على هذا الشكل هي التي تتدخل في نظرية الموصلات العالية التي وضعها باردين وكوبر وشريفر . وبأخذ هذه القوى في الاعتبار ادخل بوهم وبينس تحسينات بالنسبة إلى نظرية جامد هاتري ـ فوك فيما يتعلق بقوى التماسك وبالحرارة الذاتية الالكترونية . وكذلك يمكن أيضاً تحسين حساب التوصيلية ، والثابتة العازلة الموجودة في بعض الجوامد .

وكون البلاسمون غير خاضع للحث إلا ضمن شروط استثنائية تقريباً ، نتيجة طاقته المرتفعة مضافاً إليها تشكيل ستارة ديبي ، يفسّر لماذا نالت النظرية التي قال بها هارتري حول الالكترون الواحد مثل هذا النجاح . إن نظرية النموذج الجماهي توضح بما لا يقبل الشك حدودها ، مع توضيحها ضمن ضوء جديد لدور الالكترونات في الجوامد . إن المساهمات المهمة التي قدمها السوفيات بوغوليوبوف Bogoliubov، كليمونتوفيتش Klimontovich وسيلين Silin وكذلك المساهمة التي قدمها الفرنسي نوزيار Nozières حول تطورها ، أي تطور نظرية النموذج الجماعي ، تبرز الصفة الدولية للتقدم العلمي في العالم .

X ـ الانتقال من الموجات الكهربائية اللاسلكية إلى الموجات الضوئية

نحو انتاج موجات تحت ميليمترية ـ لقد جدد استخدام الموجات القصيرة كوسيلة تجريبية في دراسة البلاسمات ، الاهتمام بالموجات المليمترية . وبالخضوع امام الميل الذي يدفع علماء الكهرباء اللاسلكية للصعود نحو ذبذبات متمادية الارتفاع ، اهتم هؤلاء العلماء بهذه الذبذبات . ومع ذلك ، ورغم أن امكانات النقل فوق مَرشدات من موجات مليمترية تقدم احتمالات جيدة ، فقد عملت الظروف السيئة التي احاطت بانتشار هذه الموجات في الفضاء ، وكذلك صعوبة صنع أنابيب تحدث ذبذبات كهربائية عالية ، كل ذلك حدَّ من جهود اكتشاف اطوال موجات أقل من 8 مليمتر بواسطة انبوب فارغ اسمه مغنطرون سنة 1936 وكان لا بد من انتظار سنة1958 ، كي تقوم مجموعة من الباحثين في جامعة كولومبيا ، لتحقيق موجة طولها 2 مم بواسطة انبوب من النمط ذاته . وكذلك وبالرغم من أن ج . لافرتي Lafferty قد حقق سنة 1946 انبوباً فارغاً (كليسترون) يعطي موجة طولها 4 مليمتر ، فإنه في سنة1960 فقط قام ب . فان إيبرن Van Iperen بوصف كليسترون ذي موجات من 2,5 مليمتر . والاختصاصيون في البلاسمات ، المزوّدين بالذريعة الحاسمة ذريعة الميزانية المرتفعة ، توصّلوا إلى حثّ جهود البحث ، وبذات الوقت تولدّ فضول جديد لدراسة انتشار الموجات المليمترية في الفضاء . وفي هذه السنوات الأخيرة تحقّق تقدّم سريع . في سنة1957 توصل آ . كارب Karp إلى موجة طولها 1,5 مليمتر بواسطة نوامس ذي موجة معكوسة ، قريب من الكارستترون [هزّاز الموجة المرتدّة] وامكن التوصل إلى الذروة في سنة 1961 من قبل ج . كونفرت ويو ـ تا Yéou- Ta اللذين صنعا في فرنسا كارسنترون ذا موجة طولها 0,7 مليمتر مما فتح المجال واسعاً للدخول في المجال تحت المليمتري . إلا أن الانابيب ذات التواتر العالي قد بلغت ذروتها نحو التواترات العالية . وتفاعل الالكترونات مع الحقل الكهرمغناطيسي يجب أن يحدث فيها ضمن احجام تصغر كلما قصر طول الموجة وتتم هذه العملية إنما بمردود منخفض إذ يتوجب تبديد كميات من الحرارة أكبر . وكان لا بد أيضاً من أجل انجاز الانابيب من بذل جهود متزايدة الضخامة رغم أن مبدأها يبقى صالحاً في الموجات تحت المليمترية .

وقام العديد من المؤلفين بتعديل الانابيب ذات التواتر العالي بهدف التحرر من هذه الحدود التكنولوجية . واقترح بانتيل Pantell في سنة1959 انبوباً يستخدم جهاز الرجع السيكلوتروني [السيكلوترون جهاز لتحطيم نواة الذرة] للالكترونات في حقل مغناطيسي : وفيه استبدلت الحلقة الدورية من الأنابيب ذات الموجة المتصاعدة بمَرشدٍ املس سهل الصنع . وبالرجع السيكلوتروني أيضاً استعمان جهاز الحقلين الكهربائي والمغناطيسي المتصالبين الذي صنعه آ . رديش Reddish ، وكذلك « مفتعل الاعاصير » الذي وضعه ج . ويبل Weibel . إن انتاج الموجات تحت المليمترية بفضل الكترونات ذات رجع سيكلوتروني يقتضي التحكم بحقول مغناطيسية متناهية الارتفاع . وما لم تستعمل الحيل للوصول إلى موجة طولها 0,1 مليمتر كان لا بد من حقل مغناطيسي فيه مليون أرستيد œrsteds (وحدة الكثافة المغناطيسية) . ولهذا تتبع علماء الالكترون ، باهتمام ، التقدم الحاصل حديثاً في انتاج الحقول المغناطيسية المرتفعة ، وبصورة

خاصة بفضل اكتشاف معدات جديدة متناهية التوصيل . وقد تم أيضاً استخدام مولدات ذات توافق تناغمي تستخدم مفاعيل غير خطية متنوعة حاصلة بفضل موصلات نصفية من الحديديات أو من ضمائم الالكترونات ، ومن الصعب التنبؤ بمستقبل هذه المعدات التي قد يوسع بعضها سُلَّمْ التواترات المحدثة حالياً .

وفي بحثهم عن مولدات تحت مليمترية بدا علماء الكهرباء اللاسلكية متشدّدين بشكل خاص . فهم يعرفون أنهم بتحكمهم « بالطور Phase » في موجة جيبوية استطاعوا اعطاء الكهرباء اللاسلكية تطورها المدهش . ولهذا سعوا إلى انتاج موجة قريبة ما امكن من جيب مثالي يستطيعون التحكم بضخامته وبتواتره وإذا امكن بتقعره . والتفكير في هذا المثال جعلهم يتكلمون عن موجات متماسكة باعتبار الضجة الحرارية هي المثل الحميم في البث غير المتماسك . في إطار هذا البعد تبدو المصادر العادية تحت الاحمر غير كافية ، ولا الجهاز الذي وضعه نيكولس وتير Tear (راجع الفقرة الرابعة) ، وحاولوا توسيع هدف الكهرباء اللاسلكية لتشمل الموجات تحت المليمترية ، وهو هدف وضعته لنفسها هذه الكهرباء منذ مطلع القرن : منطلقة من التواترات الدنيا لاحداث موجات متماسكة ذات تواترات دائماً متزايدة الارتفاع .

المولد النسبوي ـ منذ سنة1947 اقترح الروسي ف . جنسبورغ Ginsburg استخدام التشعيع المباشر للالكترونات السريعة جداً للحصول على اطوال موجات قصيرة جداً وبعد ذلك بعدة سنوات درس ب .كوليمان امكانية استخدام « مفعول دوبلر ـ فيزو Doppler- Fizeau » للحصول على تشعيع اعلى في تواتره من تواتر ذبذبات الالكترونات . ووضعت الفكرة موضع التنفيذ من قبل هـ . موتز Motz وو . ثون Thon ور . وايتهورست Whitehurst ، إنطلاقاً من سنة1951 وذلك في « مذبذبهم » : بواسطة الكترونات صادرة عن حثاث خطي ، وباتباع مسار جيبوي ، تحت تأثير حقل مغناطيسي اعتراضي ، حصلوا على الضوء المنظور ذي الكثافة وذي اللون المطلوبين . وهناك طريق آخر لاستخدام الالكترونات النسبوية ، هو طريق تشعيع شيرنكوف وهذا الطريق قال به آبيل Abele سنة 1952 . واتبعه س . سميث وبورسل اللذان استحدثا ضوءاً مرئياً في السنة التالية ، وذلك بتمريرهما ضمة من الالكترونات من عيار 300 الف eV عبر شبكة معدنية . والواقع أن الضوء المستحدث لم يكن متماسكاً . في المولدات النسبوية يقوم شرط التماسك على تجميع الالكترونات في حزمات ذات أحجام صغيرة بالنسبة إلى طول الموجة التي يجب استحداثها : وكل رزمة تشع عندئذٍ مثل « الكترون كبير » .

ولتحقيق هذا يجب تعديل الرزمة وعندها يعمل الجهاز كمُولِّد للهرمونيكات [المنسقات] وعلى هذا تم الحصول على تشعيعات متماسكة ذات موجة من 8 مليمترات من قبل كُلٍ من دانوس وجشونيد ولاشينسكي وفان ترير ، سنة 1953 بواسطة جهاز ذي « مفعول شيرنيكوف » ؛ ومن قبل موتز في سنة 1953 بواسطة مذبذب ؛ ومن قبل كوليمان وميركيس سنة 1957 ، بواسطة آلتهم المسماة رباترون ـ هارمودوترون rebatron - harmodotron (الضارب المنسق) . ورغم هذه النتائج فإن انجاز المولدات النسبوية ذات الموجات فوق المليمترية ، بدا أمراً في غاية الصعوبة .

وللحصول على نتائج حاسمة في هذا المجال ، بدا من الضروري التخلي عن بعض الدارات المستخدمة في الذبذبات العالية لصالح عناصر مأخوذة من علم البصريات ، وفقاً للطريقة التي رسمها الكهربائيون اللاسلكيون قبل سنة 1900 . وعلى هذا في سنة 1960 عدل كوليمان واندربي جهازهما التجريبي للحصول على تشعيع مباشر بواسطة نظام ابصاري . وفي نفس الطريق قام كولشو بعمل طليعي عندما درس منذ سنة 1950 نقل المدخال [آلة قياس بواسطة التدخل الضوئي] الابصاري إلى مجال التوترات المرتفعة : فبين فيما بيَّن ان الصفيحتين العاكستين في المدخال الذي وضعه بروت وفابري يمكن ان تلعبا دور التجويف الرجعي أو الارجاعي . ومثل هذا الجهاز هو المستعمل في اللازر (النبع الاشعاعي) المكتشف سنة 1960 .

اللازر أو المشعاع ـ من بين الأساليب المقترحة لانتاج موجات تحت مليمترية ، كان استعمال المازرات واعداً بشكل خاص ، وفي البث المحثوث تنسق الموجة الكهرمغناطيسية بث مختلف الفوتونات وتدخل التماسك في حين ان البث العفوي للفوتونات يتم بشكل احتمالي . وتجري بحوث في مجال الموجات المليمترية من أجل تحقيق مضخمات كمية ذات بلورات أو ذات نوافير غازية تشبه النوافير التي تعمل ضمن السلم السنتميتري . في سنة 1958 درس شاولو Schawlow وتاونس Townes امكانية تحقيق مازرات تحت حمراء وابصارية . وأهمية البث العفوي داخل المجموعة الضوئية حيث تظهر هذه المجموعة عن طريق استحداث الضوء الطبيعي يمكن أن تشكك بها : وبالفعل ان احتمالية البث العفوي تتزايد كمكعب للتوتر . وهناك احتمالٌ بعدم تغلب البث المحثوث . ورغم هذه الصعوبة سارت مختبرات اميركية عدة في مجال تحقيق « المازر الابصاري » [المازر هومكبر اشعاعي] المسمى عموماً لازر من كلمة انكليزية Laser وتعني تضخيم الضوء بواسطة البث الاشعاعي المحثوث Light Amplifier by stimulated Emission of Radiation : (مضخم الضوء ببث الاشعاع المحثوث) .

في سنة 1960 جاء النجاح يتوج أعمال ت . ميمان من مختبر هيوز Hughes ، وبعد ذلك بقليل نجحت اعمال الباحثين في مختبرات بل : وكان للنتائج الباهرة المشهودة أثر القنبلة الذي شاع وذاع تدريجياً في الأوساط العلمية والتقنية . انه باستعمال الخيط من الفلوريسان في بلورة ياقوتية استطاع ميمان ان ينجز أول لازر : وكان هذا اللازر مضيئاً بعنف بالضوء الأخضر فتصدر عنه نبضات من ضوء أحمر ، وجُعل وجهان متوازيان من البلورة عاكسين بواسطة معدنة بحيث يشكلان مرجاعاً كان وضعه بيروه Pérot وفابري Fabry . وبين الوجهين كانت كثافة الطاقة الكهرمغناطيسية من القوة بحيث ولدت بثاً محثوثاً متميزاً بخيط دقيق جداً وزخيم جداً بشكل يفوق ما يصدر عن الخيط من الفلوريسان المبثوث بشكل عفوي . ويتركز التشعيع ضمن هذا الجهاز انه لا يعمل الا بواسطة النبضات . وسعت عدة مختبرات إلى الحصول على تشغيل دائم بواسطة بلورات أخرى : من فلورور الكالسيوم المنشط بواسطة ايونات أورانيوم أو بواسطة تربة نادرة ، وقد أعطى الفلورور هذا نتائج مفيدة وفي شباط سنة 1961 أعلن كُلّ من آ . جافان وو . بينيت ود . هريوت عن وضع لازر غازي يحدث تشعيعاً دائماً في تحت الأحمر القريب من المرئي . ويوضع الغاز وهو مزيج من الهليوم والنيون في انبوب « مردادي اسمه بيروه ـ فابري » وفيه

يتم تعاكس المحتوى بين مستويات طاقة النيون بواسطة تفريغة كهربائية . وفي سنة 1962 استحدث الباحثون في مختبرات بل أربعة عشر طولاً لموجات عن طريق بث اللازر وذلك باستخدام تفريغة غازات متنوعة ؛ ثلاثة منها لم يكن بالامكان رصدها بالبث العفوي .

ان تواتر الموجات المبثوثة من قبل « اللازرات » يبدو محدداً بصورة أفضل من تواتر الخيوط المبثوثة عفوياً من قبل الذرات والجزيئات : ان عرض الخطوط هو بآلاف المرات أضيق من عرض الخطوط الإبصارية غير الشفافة العادية ، ويمكن عملياً اعتبار اللازرات كمولدات للضوء المتواصل . هذه الخاصة مضافة إلى زخم البث وإلى تكثيف الطاقة ضمن خيط رفيع ، تبدو مفيدة بالنسبة للاتصالات اللاسلكية ، التي تستفيد من هذا السلّم الطيفي العريض بشكل غير عادي . في الماضي ، حاول العديد من الباحثين تعديل الموجات المحدثة بفضل اللازرات . وهناك محاولات جارية لتحقيق توسيع مدى الرادار باسم كوليدار (Colidar) [اختصار لعبارة انكليزية هي : Cohe-rent light detection and ranging) : وتعني التقاط وقياس المسافات بواسطة الضوء المتماسك . ومكن زخم الطاقة الحاصلة ، أيضاً ، ترقب تطبيقات عملية في مجالات متنوعة منها الجراحة ، ودراسة الروابط بين الجزيئات ، وصنع المعدات .

حتى لو أعطينا حصة للحماس الذي يعقب الاكتشافات الكبرى ، من المؤكد ان اللازر يفتح آفاقاً جديدة ، ربما كانت حتى الآن غير متوقعة ، في الفيزياء وفي التقنية المتعلقتين بالاتصالات اللاسلكية . إلا أن اكتشاف اللازر لا يحلّ تماماً مسألة انتاج موجات تحت مليمترية متماسكة . خاصة يبقى هناك ثغرة واسعة يجب ردمها في سلّم التواترات ، بين أطوال الموجات بين 0,7 مم و3 ميكرونات .

XI ـ الطاقة الكهربائية والبحث العلمي

ولا نستطيع انهاء هذا العرض لتطور الكهرباء والالكترونيك على الصعيد العلمي دون ذكر المسائل المطروحة بفعل انتاج الطاقة الكهربائية ، رغم ان الشروط الاقتصادية والتقنية قد لعبت في تاريخها دوراً حاسماً كدور التقدم العلمي .

الطرق الكلاسيكية لانتاج الكهرباء ـ في الواقع ، ان الأسس النظرية التي عليها يرتكز عمل الآلات الكهربائية كانت معروفة منذ اكتشاف قوانين الكهرمغناطيسية ، وخاصة قانون الحث في منتصف القرن التاسع عشر . وبعد الأعمال الطليعية التي حققها بيكسي Pixii سنة 1832 ، فتحت البحوث التي قام بها باسينوتي Pacinotti سنة 1861 وسيمنس Siemens سنة 1866 ، الطريق إلى اختراع الدينامو على يد غرام Gramme سنة 1869 . ولم تخترع ماكينات التيار المتناوب ، رغم انها أبسط من ماكينات التيار المتواصل ، إلا فيما بعد . من ذلك ان الماكينات ذات الدوران المتوافق مع التيار ، « التناوبية » حققها اليهو طومسون (Elihu Thomson) سنة 1879 ، ثم سيمنس وهوبكنسون سنة 1884 ، ووستنكهوس 1886 وتسلا Tesla سنة 1887 ؛ ومن بين مخترعي الموتورات « غير التناوبية » يجب أن يذكر مرسال دبرز M. Deprez (1883) ، وفراريس (1886)(Ferraris)

وكذلك تسلا (1888) . وبذات الوقت قام منظرون امثال جوبرت Joubert ، وبن اشنبورغ Eschenbourg واندره بلوندل Blondel وموريس لبلان Leblanc بوضع أسس حساب هذه الآلات . وهكذا تفصل عشرون سنة تقريباً اختراع المناوبات الأولى عن تحقيق مناوبات التلغراف اللاسلكي (T.S.F.) في حوالي سنة 1900 (راجع الفقرة III) .

في سنة1882 أجرى مارسال دبريز M. Deprez أول تجربة علنية لنقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر في معرض ميونخ . في هذه الاثناء وفي نفس السنة أدى اختراع المحول على يد الفرنسي غولارGaulard والانكليزي و . ي . جيبس Gibbs إلى اعطاء مرونة أكبر لاستخدام التيارات التناوبية . في سنة 1891 ، أجرى تسلا أول نقل للطاقة الكهربائية بواسطة التيار المثلث المراحل (Triphase) [وهو تيار متناوب تنقطع تناوباته ، اثنين اثنين بمعدل 1/3 فترة الانقطاع] على مسافة 175 كلم ، من لوفن إلى فرانكفورت . وقد ذكرنا ، في معرض البحث في نظرية الشبكات ، أسس حساب الماكينات الكهربائية وخطوط نقل الطاقة : مفهوم المعاوقة ، وتصوير المقادير الكهربائية باعداد مركبة ، الخ . ويجب أن يضاف إليها ادخال مفهوم « القوة المنشطة » على يد بوشرو Boucherot ، آخذاً في الحساب التيارات التربيعية التوتر .

وأتاحت هذه الاعمال تطور الانتاج المدهش ونقل الطاقة الكهربائية في القرن العشرين : فبعد أن كان لا يذكر تقريباً سنة1900 ، أصبح الانتاج العالمي ما يقارب من 400 مليار كيلوواط ساعة عشية الحرب العالمية الثانية ، والتقدم مستمر ، مؤدياً إلى مضاعفة الانتاج تقريباً كل عشر سنوات : إذ تجاوز الفي مليار كيلوواط ساعة سنة 1960 .

الواقع إن الجهاز الاساسي في انتاج الكهرباء ، وهو المناوب ، هو في نهاية سلسلة معقدة من تحولات الطاقة . في المراكز المائية ـ كما في المراكز البحيراتية التي هي قيد الدرس اليوم ـ تحول الطاقة الكامنة في كتلة ضخمة من المياه إلى طاقة حركية ، ثم تحول هذه الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ، بواسطة مجمعات مكونة من فراش (توربينات) ومن محول مناوب . وفي المراكز الحرارية ، العاملة بواسطة الفحم أو الغاز أو مشتقات البترول تبدو السلسلة أطول : طاقة كيميائية ، حرارة ، طاقة ميكانيكية ، ثم طاقة كهربائية .

الكهرباء ذات المنشأ النووي ـ في المعامل النووية التي تستعمل تفاعلات انشطار الأورانيوم أو البلوتونيوم ، والاول منهما اشتغل أولاً سنة1954 في الاتحاد السوفياتي ، وفيها تغيرت بداية سلسلة الاجهزة فقط ، فقدحلت الطاقة النووية المحدثة بفضل خازن [« بطارية »] ذري محل الطاقة الكيميائية كمصدر للحرارة : ومثل هذه المفاعلات قد ركبت في العديد من البلدان .

بالمقابل أن الاعمال الجارية لتدجين الانشطار النووي قد تؤدي إلى طرق مختلفة جداً في انتاج الطاقة الكهربائية فتفاعلات الانصهار أو الالتحام ، الشبيهة بتلك التي تحصل في الكواكب ، تُمْمِل عناصر خفيفة مثل الدوتيريوم والتريتيوم والهليوم والليثيوم . ومن أجل تحقيق هذه التفاعلات ، يكفي من حيث المبدأ ايصال المحروق النووي إلى ما يقارب مئة مليون درجة ثم الإبقاء عليه فيها مدة طويلة . وقد سبق وأشرنا ، بمناسبة الغازات المؤينة (الفقرة IX) إلى الاعمال النظرية المهمة

والتجريبية أيضاً التي هي قيد التنفيذ . هذا المجهود المبذول منذ 1951 ، قد تزايد منذ 1955 ، بعد مؤتمر مهم عقد في جنيف . والتوقعات حول نتائج هذه الدراسات هي متفائلة تارة ومتشائمة تارة أخرى : في سنة1955 ، تنبأ الفيزيائي الهندي بهابها Bahabha بأن المسألة تحلّ بخلال عشرين سنة . وفي السنة التالية كتب الفيزيائي الاميركي ريشار بوست R. Post ، وقد لاحظ قلة عدد الفيزيائيين المقبلين على بحث الحركة الدائمة ، بسبب قانوني الترموديناميك [التحرك الحراري] الاول والثاني ، يقول : « يؤمل بان لا يقع مفاعل الانصهار ضمن هذه الفئة من الجهود » . إن مسائل الاستقرار أو تشعيع البلاسما ، يمكنها بالفعل ، ان تصعب جداً تحقيق الانصهار المحكوم في المختبر . ومع ذلك تتالت البحوث بدأب وتحققت انجازات مهمة . ولتبرير هذا الجهد في البحث يكفي التذكير بالاعتقاد بان الدوتيريوم في المحيطات ، لوحده فقط ، يشكل احتياطياً طاقوياً يكفي لتغذية العالم طيلة مليار من السنين ، حتى ولو بلغ الانتاج الف مرة وتيرة الانتاج الحالي : تجاه هذا فان كل موارد الطاقة الاخرى تبدو محدودة للغاية .

طرق جديدة لانتاج الطاقة الكهربائية ـ بانتظار هذا الدفق الضخم من الطاقة ما يزال المولد « المغناطيسي المائي الديناميكي » ، الذي يمكنه بصورة مباشرة تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية ، موضع تجارب في عدة مختبرات . وهناك طرق عدة تُكتشف أيضاً لتحويل الحرارة إلى كهرباء ، دون تدخل من الماكينات الدوارة . إنّ فيزياء الجامد تقدم حلين لهذه المسألة : « الفوتوبيل » أو الخزانات الكهربائية المحققة بفضل وصلات نصف موصلة ، وقد استعملت على ظهر الاقمار الصناعية ؛ ثم تقدم « العناصر الحراية » نصف الموصلة التي مكنت في السابق من تحقيق انجازات مفيدة ، مرتكزة على خصائص المزدوجات الحرارية الكهربائية . وبآنٍ واحد ، جددت اطروحة ج . هاتسوبولوس G. Hatsopoulos سنة1956 الاهتمام بالقلاب الحراري الايوني : في هذا الجهاز ، تحدث الالكترونات الصادرة عن القطب السلبي (كاتود) الحار تياراً داخل حلقة خارجية تحت ضغط من عدة فولتات . ويمكن لهذه الاجهزة ، إن توصلت إلى متنوج كافٍ ، ان تضم إلى مفاعلات نووية . وبناء عليه تتضمن المولدات « سناب = SNAP » الاميركية ، التي هي قيد الدرس من أجل تزويد الاقمار الصناعية ، مصدر وقودنووي وبطاريات حرارية « ترموبيل Thermopile » ذات موصلات نصفية .

وأخيراً يعمل العديد من المختبرات من أجل جهاز يحول مباشرة الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية : البطارية ذات الوقود . في حين أن البطاريات العادية تعيش حياة قصيرة جداً ، وفي حين أن الخزانات [البطاريات] التي اخترعها بلانتي Planté سنة1860 يجب إعادة تعبئتها بصورة دورية ، فإن البطاريات الجديدة يكفي فيها وجود ذخيرة كبيرة من الوقود ، الهيدروجين وافضل منه الهيدروكربير . والبطارية ذات الوقود الشائعة دراستها أكثر تعود إلى فكرة قديمة جربها غروف Grove سنة1839 : تحويل طاقة اعادة دمج الجزيئات الهيدروجينية بالاوكسجينية مباشرة إلى طاقة كهربائية ، في الوقت الذي تكون فيه هذه الطاقة الدمجية بشكل حرارة اشتعالية . وتتضمن البطارية ذات الوقود قطباً هيدروجينياً ، وقطباً اوكسجينياً ووسطاً الكترولتيكياً [« محلول يتجزأ إلى كهرباء

سالبة وموجبة »] وسيطاً ، تضاف إليها احتياطات من الاوكسجين والهيدروجين .

إن هذه الوسائل الجديدة لانتاج الكهرباء لا تطمح إلى الحلول محل الطرق التقليدية . إلا أنها ذات اهمية ضخمة في التطبيق العملي مثل تغذية الاقمار الصناعية بالطاقة وانتاج الكهرباء انطلاقاً من الطاقة الشمسية ، وكذلك من أجل تحسين انتاجية المولدات الكلاسيكية .

إن التقنية الكهربائية بعد أن كرست نفسها طيلة قرن من الزمن لوضع قوانين ظاهرة للعيان في مجال الكهرباء ، أخذت تميل بالتالي إلى الاقتراب من الالكترونيك [استخدام الالكترون] الذي قدم ، من وجهة نظر علمية الخدمة الرئيسية في القرن العشرين لتاريخ الكهرباء وذلك باستكشاف الأواليات الميكروسكوبية التي عليها ترتكز القوانين المكتشفة في القرن التاسع عشر . فانطلاقاً من أفكار حول النظرية الحركية في الغازات ، أخذت النظرية تتعقد بصورة تدريجية وذلك بادخال قوى بعيدة المدى بين الجزئيات ، وبتغييرات مرتبطة بتطور النظريات الكمية : وليس من طريقة افضل لمشاهدة ذلك ، من تتبع تطور نظرية ظاهرة كهربائية خاصة .

وهناك مثل جميل هو مثل أوالية أو توصيل الكهرباء داخل الاجسام الصلبة ، أي التفسير الميكروسكوبي لقانون أوهم Ohm . منذ بداية القرن اتاح اكتشاف الالكترون إلى بعض الطليعيين امثال طومسون وريكي Riecke ودرود Drude ولورنتز أن يعطوا نظرية أولى استطاعت رغم عدم كفايتها ، إن تحقق نجاحات اكيدة . فقد بينت أنه يوجد داخل الموصلات ، الكترونات توصف بانها « حرة » وهي كذلك نسبياً . وهذه الالكترونات تتحرك تحت تأثير حقل مغناطيسي فتؤمن نقل الكهرباء ، رغم أن تنقلاتها تتضايق بوجود الايونات . والتقدم اللاحق في نظرية توصيل الكهرباء ارتبطت ، من جهة باكتشاف قوانين تتحكم بالسلوك الاحصائي للالكترونات الموجودة (احصاءات فرمي وتطبيقها من قبل سومرفيلد على الموصلات) ، ومن جهة أخرى باكتشاف الميكانيك الذي يتحكم بحركة الجزيئات على الصعيد الميكروسكوبي (الميكانيك التذبذبي والنظريات الجديدة الكمية) . وعندها امكن توضيح مفهوم الالكترونات الحرة داخل الجوامد (نظرية الاحزمة) ، وفهم ما يميز الموصلات عن العازلات وعن نصف الموصلات وبالتالي تفسير الصفات الكهربائية لهذه الموصلات النصفية وذلك بادخال فكرة « الثقب أو الثغرة » وهي التي تعبر عن تأثير الشبكة البلورية على انتشار الموجات التي يربطها الميكانيك التذبذبي بالالكترون وبكل جزئية ميكروسكوبية . ويتوجب أيضاً ادخال مفاهيم خاصة لترجمة السلوك الجماعي الذي تسلكه الايونات في شبكة ما (مفاهيم الفوتون) وسلوك الالكترونات (مفهوم البلاسمون) . وأخيراً يتوجب في ضوء هذا الميكانيك الكمي ، توضيح ما كانت تسميه نظرية درود القديمة « صدامات بين الالكترونات والايونات » ؛ بدلاً من الصورة المبسطة للاصطدام بين طابات البليار ، يتوجب احلال أواليات التفاعل التي اصبح وصفها ودراستها أكثر فاكثر تعقيداً : وهي التي سوف تعيد التوازن الحراري الديناميكي عندما يتوقف تدخل قوة خارجية مثل تطبيق حقل كهربائي ؛ وفعاليتها ، أي فعالية هذه الأواليات ، في لعب دور عامل الرجوع إلى التوازن تقاس بواسطة « زمن الارتخاء » وتطبيق مفاهيم مماثلة على نظرية الغازات المؤينة مع وجود فارق هو أن المحتوى

الالكتروني أقل ثقلاً ، ولذا يمكن أن يُكتفى فيه في أغلب الاحيان بالميكانيك الكلاسيكي ، ولاستكمال هذه النظرية الشاملة إلى المفاهيم الحاضرة حول توصيل الكهرباء في المادة ، يتوجب أيضاً ذكر دور عامل النقل المحزو إلى الايونات في الاوساط التي لا يوجد فيها الكترونات حُرَّة أو محاليل أو عازلات . إننا بعيدون جداً عن النظريات البسيطة في بداية القرن إلا أن فكرتها الاساسية باقية رغم أنها قد تعقدت حين تحدّدت .

إن معرفة الأواليات الميكروسكوبية تعطي للعلماء وللتقنين قوة متزايدة تظهر بشكل خاص في التطبيقات العملية للالكترونيك . نحن نعرف اليوم كيف نستخرج الالكترونات من المادة لكي نشغلها في الانابيب المضخمة ، وفي الميكروسكوبات (مجاهر) الالكترونية ، وفي المسابر الالكترونية الانشقاقية الالكترونات أو ذات الاشعة السينية ، وفي الانابيب الاستكشافية الضوئية وفي المسرعات الالكترونية . والجوامد لم تعد تستخدم فقط كموصلات للكهرباء أو كعازلات : فقد اصبح بالامكان استخدام الخصائص الكهربائية الاكثر رهافة مثل البيزركهرباء [مجمل الخصائص الكهربائية المحدثة بالضغط على بعض الاجسام] ، وخصائص الموصلات النصفية ، أو النقل الكانتي (الكمي) داخل العازلات الكهربائية . ومن أجل تشغيلها يمكن صنع معدات جديدة في درجة قصوى من النقاء والكمال البلوري . إن هذا التقدم في معرفة الخصائص الكهربائية للمادة قد أعطى للالكترونيك خصباً يتزايد باستمرار : يكفي التذكير بالاختراعات الاكثر حداثة مثل الترانزيستور ، والمازر ، والمضخمات المعيارية ، وأخيراً اللازرات .

واستفاد العلم من هذه الاختراعات ، وهي ثمار مشتركة من ثمار التقدم العلمي والتكنولوجي . ويجب أن نذكر في بادىء الامر دور الالكترونيك في علم المقاييس : فكل مختبر حديث ، سواء اهتم بالفيزياء النووية ، أو بفيزياء الجوامد ، أو حتى بالكيمياء أو بالبيولوجيا ، يستعين بالآت الكترونية ؛ إن نتائج القياسات تستخدم عادة بواسطة حاسبات الكترونية هي ، من جهة أخرى ، ضرورية لقيادة معظم النظريات وإيصالها إلى النتائج العددية . واستكشاف المادة يتحكم بمعدات في غاية الفعالية في مجال التسجيل الطيفي (Spectroscopie) الهرتزي ، وبالمعدات الابصارية الالكترونية ، في حين أن علم الفلك الضوئي (Radio-astoronomie) هو باب جديد مفتوح على الكون . ودور الالكترونيك والكهرباء الضوئية في دراسة الفضاء بواسطة الصواريخ والاقمار الصناعية لا يقل عن ذلك اهمية : إن النصيب الذي يعود إلى دراسة الفضاء يتضمن القيادة اللاسلكية ، والقياسات ثم اعادة نقل النتائج إلى الارض .

والتطبيقات التقنية لعلم الالكترونيك معروفة أكثر من الجماهير : البث الاذاعي ، الاتصالات البعيدة المدى بواسطة الخطوط والكابلات متحدة المحور ، بواسطة البث « الراديو » أو الحزمات الهرتزية ، والتلفزيون والراذار ، والتوجيه الراداري ، والالكترونيك الصناعي ، والتوجيه من بعيد ، والقياس من بعيد . وانتشار هذه التطبيقات العملية ليس بعيداً عن تاريخ الالكترونيك ، حتى على الصعيد العلمي : وينتج عن ذلك مساهمة مهمة من جانب الصناعة في البحث ، سواء عبر نشاطات المختبرات الصناعية التي تذهب في البحث إلى الاساس ، أم عبر الدعم المالي

الذي يحفزه ويوجهه .

في السنوات المقبلة سوف يتحدد تطور الالكترونيك ـ حتى كعلم ـ وفي معظمه بالحاجات الانتفاعية : البحث عن تواترات مرتفعة من أجل الاتصالات البعيدة ، وأكثر من ذلك ، من أجل استقصاء المادة ، ومن هنا البحث حول الموجات المليمترية وتحت المليمترية ، وكذلك حول اللازرات ؛ والاحتياج إلى مرسلات ذات قوة عالية ، مما يؤدي إلى درماة الأنابيب « العالية القوة » التي تضاعف بأكثر من عشر مرات القوة المتاحة اليوم ؛ الاعمال حول لاقطات الضجة الضعيفة جداً (أنابيب ، الترانزيستور ، المضخمات المعيارية والمازرات) ؛ تصغير التجهيزات خاصة عبر البحوث الفضائية ، والحاسبات ، وكذلك المرسلات الذاتية الالكترونية الجاري درسها بخصوص التلفونات ، مستخدمة فيزياء الجوامد والتكنولوجيا الجديدة للمركبات الالكترونية ؛ مسائل انتاج الطاقة الكهربائية التي اشرنا إلى بعض مظاهرها الجديدة .

وقد رأينا أيضاً أن نظرية الخصائص الكهربائية للمادة تطرح أيضاً مسائل ، تشكل كذلك امكانات تطورية . إن فيزياء البلاسما المزدهرة حالياً تظهر خصائص أكثر تعقيداً مما كان يظن في بادىء الامر . ففيزياء الجوامد التي قلبت نتائجها الباهرة الالكترونيك تقتضي أيضاً تحسينات ، سواء فيما يتعلق بالعازلات أو بالمرصلات النصفية أو بالموصلات المرهفة ، وبصورة خاصة أن التقدم الحديث في مجال التوصيل الدقيق الحاصل بعد اختراع المازرات يبشر بولادة الكترونيك ذي درجة حرارة منخفضة .

ولمعالجة المسائل العالقة، وللوصف الدقيق لكل تعقيدات الظاهرات الميكروسكوبية ، يتوجب على الفيزيائيين الاستعانة بكل الوسائل الاقوى في الفيزياء الرياضية ، سواء في اطار الكهرمغناطيسية الكلاسيكية ، أم في اطار النظريات الكمية . إلا أن بعض المجالات ، في هذه الاخيرة ، مثل النظرية الكمية للحقول ، أو الكهرباء المتحركة الكمية ، تبقى حتى الآن قليلة الاستعمال في الالكترونيك: وادخالها ربما بدا ذات يوم ضرورياً وخصباً . إلا أن تفحص الاعمال الجارية حول المازرات واللازرات يدلّ على أن نظرية الكهرمغناطيس الكلاسيكية تقدم مساهمة مهمة في هذا المجال فعندما يقتضي الامر تحليل الخصائص في الحلقات وفي المرجعات ، ودرس التشعيع الحاصل ، فإن مفهوم الموجة الكهرمغناطيسية ، كما تصوره خلفاء مكسويل ، يبقى هو الاسهل حتى الآن . إنّ الفيزيائيين يستطيعون عندها اللجوء إلى البناء الجميل للفيزياء الرياضية ، هذا البناء الذي اقيم على أثر اعمال لورنتز ، وبوانكاريه وسومرفلد والذي يعتبر كتاب ستراتون Stratton « النظرية الكهرمغناطيسية » أحد افضل مما عرض عنه حديثاً . إن هذه النظرية ، التي يمتد مجالها أيضاً إلى علم البصريات كما إلى علم الكهرباء الاشعاعية ، لا تعالج فقط الحقول الكهرمغناطيسية التي أصبح توزعها في الفضاء وتطورها عبر الزمن محدّدين تماماً . لا شك أنها تكرس نفسها بشكل خاص لدراسة الانظمة الجيوبية ولدراسة الانظمة الكهربائية المتغيرة ، فتستخرج منها ، بفضل تغييرات فورييه ولابلاس ، شكلاً جديداً حديثاً للحساب العملياتي الذي جاء به هيفيسيد (Heaviside) . ولكن اعمال ب . هـ . فان سيترت P.H. Van Cittert (1934)

وف . زرنيك F. Zernike (1938) ، ثم اعمال ي . وولف E. Wolf وآ . بلانك ـ لابيير A. (1955) Blanc- Lapierre حول التماسك ، قد اتاحت تضمينه حقـولاً تتسم مرحلتهـا واتساعهـا بالاحتمـالية والمصادفة إلى حد ما ، كمثل تلك الحقول الناتجة عن تراكم التشعيعات الصـادرة اسقلالاً وتلقـائياً عن الذرات . هذه الاعمال ذات الاهمية البالغة سابقاً في مجال البصريـات ، اصابهـا تطور جـديد مع ولادة الالكترونيك الكمي الذي يقوي الرابط بين الراديو كهرباء وعلم البصـريات ، هـذا الرابط الذي قام في القرن التاسع عشر بفضل النظرية الكهرمغناطيسية التي وضعها مكسويل .

الفصل العاشر

النشاط الاشعاعي
والفيزياء النووية

I ـ من اكتشاف اشعة ايكس (X) الى اكتشاف النيترون (1895-1930)

اكتشاف اشعة X ـ في سنة 1895 ، كانت مفاهيم الذرة والجزيء قد اعتمدت بشكل شبه عالمي بعد الاعمال التي قام بها دالتون Dalton ، وبروست Proust وافوغادرو Avogadro ، الخ . ولكن بنية الذرة بقيت مجهولة : فكانت الذرة تعتبر وكأنها العنصر النهائي الاقصى في كل جسم بسيط ، وكان الظن سائداً انه يوجد منها انواع تتنوع بتنوع الاجسام البسيطة .

وفي ذات الوقت قدمت الدارسات حول الكهرباء معارف جديدة ، خاصة بعد ذيوع الموجات الكهرمغناطيسية (هرتز 1887) ، ولكن تجارب التفريغ في الغازات النادرة ، مهما كانت عديدة ، لم تسلم اسرارها ؛ وليس قبل سنة 1896 استطاع ج . ج . طومسون اكتشاف الالكترون ، وبعد ذلك بسنوات ، قياس التفريغ الذي يحمله هذا الالكترون ـ والذي يساوي شحنة يفرغها ايون وحيد الصلاحية ـ مما اتاح اعتبار هذا الالكترون « كذرة حقيقية بالنسبة الى الكهرباء » (انظر الفقرة I من الفصل السابق) .

وقبل ذلك بسنتين (1895) كان و . ك . رونتجن W. C. Röntgen قد اكتشف اشعة X (السينية) . في مختبره في ورزبرغ ، لاحظ رونتجن لاول مرة وجود اشعة غير مرئية ، تنتشر خارج لمبة ذات اشعة كاتودية [سالبة] مغطاة باوراق سوداء ، ومن شأن هذه الاشعة ان تلمّع شاشة من بلاتينو سيانور الباريوم . وسمّاها باسم اشعة X (ايكس) . وجاءت اعمال رونتجن تتمة لاعمال عديدة جرت وتناولت الاشعة الكاتودية خاصة من قبل فيلار Villard ، وكروكس Crookes وويشرت (Wiechert) . وقد بيّن جان بران J. Perrin بان الاشعة الكاتودية كانت تتألف من رزمة من الالكترونات السريعة . عدا عن تأثيرها في الشاشات اللاصفة (المشعة) ، اثبت رونتجن بان الاشعة الجديدة المجهولة تؤثر في الصفيحة الفوتوغرافية وتؤين الهواء المحيط بها . وبين كذلك بان اشعة X قادرة على اختراق الكثافات من المادة المهمة نسبياً وهي تُمْتص بصورة اقوى من قبل العناصر ذات الوزن الذري العالي . واستخدم هذه الخصوصية فاجرى اولى الصور للعظام داخل الكائن الحي (وقد ذكرنا تاريخ تقدم التصوير الاشعاعي (راديولوجي) في دراسة ر . دبري R. Debré وج . ديبيكوا G. Desbuquois في الفصل الاول من القسم الخامس) .

وجرى تقدّم سريع في صنع الانابيب ؛ ادخال « ذيل القطب السلبي » « انتيكاتود » ، ثمّ في سنة 1913 تمّ وضع انابيب الكاتود الساخن من قبل كوليدج Coolidge وذلك بعد اكتشاف بث الالكترونات من قبل الاجسام المشعة .

وبعد اعمال رونتجن ، لم يحصل ، في مجال اشعة ايكس ، اي تقدم اساسي الا بعد مضي خمس عشرة سنة على يد فون لو Von Laue الذي أثبت ان اشعة ايكس هي تشعيع كهرمغناطيسي ذو طول موجة قصير (راجع بهذا الشأن دراسة ج . اورسل (J. Orcel) في الفقرة الاولى من الفصل II من القسم الثالث) وعلى يد موزلي Moseley الذي ربط اطياف الخطوط التي تتميز بها اشعة ايكس ، بالبنية الالكترونية للذارت (الفقرة الثانية من الفصل XI منّ هذا القسم) . وكان لاكتشاف أشعة إيكس ، زيادة على تطبيقاتها العملية الآنية ، أهمية بالغة جداً في كل التطوير اللاحق الذي أصاب الفيزياء .

توجد صورة مبسطة وسهلة للذرة ، اصبحت اليوم كلاسيكية ، هي النموذج الذي وضعه روذرفورد ـ بوهر (Rutherford - Bohr) (1911-1913) وفيها تبدو الذرة ذات نواة مركزية مشحونة ايجابياً ، محاطة بالكترونات تدور فوق مدارات دائرية أو اهليلجية (بيضاوية) ، وتحتل نواتها المركز أو احدى البؤر . والمجمل متوازن حيادي من الناحية الكهربائية ؛ بالنسبة الى ذرة من الرقم الذري Z ، وشحنة النواة تمثل بـ Ze + . فوق هذه المدارات ، لا تشع الالكترونات المتحركة طاقةً ، ولكنها ، عندما يمر الكترون من مدار الى مدار ، يحصل تبادل للطاقة مع الوسط الخارجي ، وذلك عموماً بواسطة فوتون يكون تواتره ν بحيث نحصل على المعادلة $h\nu = E_i - E_f$ ، وفيها تمثل E_i وE_f طاقات الاتصال في الكترون بين حالته الاصلية وحالته النهائية .

وهكذا تنتج الاشعة السينية المميزة عن انتقالات الالكترونات بين الطبقات الاكثر التصاقاً في الذرة (K,L الخ) . ووقع الكترونات ذات طاقة كافية على ذرات هدفٍ ما من شأنه ان يحدث اشعة سينية مميزة وذلك بانتزاع الكترونٍ من الطبقات الداخلية من بعض الذرّات . ولكن بطء الجزئيات المسرعة ، وخاصة الالكترونات ، بالمرور من قرب المراكز المشحونة يحدث تشعيعاً كهرمغناطيسياً يسمى تشعيع الكبح وهو يفسر الطيف المستمر في اشعة ايكس .

في الوقت الذي اعتبرت فيه بنية الذرة معروفة بما فيه الكفاية ، بالمقابل ، ورغم الجهود المبذولة العظيمة طيلة هذه السنوات الثلاثين الاخيرة ، من قبل فيزيائيين عديدين ، بقيت بنية النواة سراً غامضاً . ان النواة هي نظام معقد مكون من بروتونات ومن نترونات . وهو كموكبه الالكتروني ، قد يتوجد في حالة من الطاقة لا تتوافق مع حالة الطاقة الاقل ؛ وعندها يتلقى دفعاً نحو هذه الحالة التي تظهر نفسها بشكل تحرير طاقة . وبعض النوى قد تظل لمدة طويلة في حالة السكون المطلق هذه (حتى مئات الملايين من السنين) وتتلقى في لحظة ما تحولاً : عندها يقال انها اصبحت مشعة ناشطة . وتتحرر الطاقة بشكل تشعيعات متنوعة ؛ ورصد هذه التشعيعات لأول مرة هو الذي اتاح لـ هـ . بكيريل H. Becquerel سنة 1896 ان يكتشف النشاط الاشعاعي .

ويمكن ، مع النشاط الاشعاعي اعتبار ليس فقط ان حقبة جديدة قد طرأت على الفيزياء ، بل ان تطورات جديدة قد ظهرت في كل المجالات المعرفية ، وحتى في البنية البشرية . وقد

نتجت هذه الاكتشافات عن اعمال دؤوبة عرفت عبقرية الخبراء المجربين المتتالين كيف تُنوِرُ فيها ظاهرات غير متوقعة .

اكتشاف النشاط الاشعاعي - ان اكتشاف النشاط الاشعاعي من قبل هنري بكريل سنة 1896 قد لحق ، عاجلاً ، باكتشاف الأشعة السينية . وقد أمكن التثبت منها بفعل الاشعاعات فوق الصفيحة الفوتوغرافية . .

وقد ذكرت ماري كوري الظروف بشكل حي : « ان منشأ اعمال بكريل Becquerel يرتبط بالبحوث الملاحقة منذ اكتشاف اشعة رونتجن واثرها الفوتوغرافي على المواد الفوسفورية والمشعة .

كانت الأنابيب الأولى المنتجة لأشعة رونتجن أنابيب بدون « ذيل قطب » معدني . وكان مصدر اشعة رونتجن موجوداً على غشاء الزجاج المسلطة عليه الاشعة الكاتودية ؛ وبذات الوقت كان هذا الغشاء مشعاً للغاية . وعندها امكن التساؤل اذا كان بث اشعة رونتجن لا يقترن بالضرورة بانتاج التشعيع ، مهما كان سبب هذا الاخير . وكانت هذه الفكرة قد اعلن عنها هنري بوانكاريه في بادىء الامر .

وبعد ذلك بقليل ، اشار العديد من المجربين الى امكانية الحصول على مطبوعات فوتوغرافية عبر ورقٍ اسود بواسطة سولفور الزنك المشع ، وبواسطة سولفور الكالسيوم المعرض للضوء وبواسطة ركاز الزنك (بلند) السداسي الاصطناعي المشع . ان التجارب التي سبق ذكرها ، لم يمكن تكرارها رغم المحاولات العديدة الجارية لهذه الغاية . واذاً لا يمكن على الاطلاق التسليم بثبوتية ان سولفور الزنك (التوتيا) وسولفور الكالسيوم من شأنهما تحت تأثير الضوء ، بث اشعاعات غير منظورة تخترق الورق الاسود وتفعل في الصفائح الفوتوغرافية .

أجرى هـ . بكريل تجارب مماثلة على املاح الاورانيوم التي كان بعضها مشعاً . وحصل على مطبوعات فوتوغرافية ، عبر الورق الاسود مع السولفات المزدوج من الاورانيل والبوتاسيوم . واعتقد بكريل في بادىء الأمر ان هذا الملح ، الذي هو مشع ، سوف يتصرف كما سولفور الزنك وسولفور الكالسيوم في التجارب التي سبق وصفها بهذا الموضوع . ولكن تتمة التجارب اثبتت ان الظاهرة المرصودة لم تكن على الاطلاق مرتبطة بالتشعيع . ولم يكن من الضروري ان يكون الملح مضاءً ؛ ثم ان الاورانيوم وكل مركباته ، المشعة أو غير المشعة ، تتصرف نفس الشيء ، والاورانيوم المعدني هو الاكثر نشاطاً . ووجد بكريل فيما بعد ان مركبات الاوران ، إذا وضعت في الظلام الكامل ، تظل تطبع الصفائح الفوتوغرافية عبر الورق الاسود ، طيلة سنين عديدة . وافترض بكريل ان الاورانيوم ومركباته تصدر اشعة خاصة : هي الاشعة الاورانية (ماري كوري كتاب النشاط الاشعاعي 1910) » .

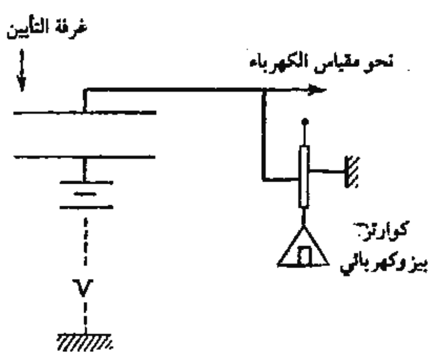
قيل في بعض الاحيان ان اكتشاف بكريل هو وليد الحظ أو المصادفة . والواقع ان الحظ الذي لقيه بكريل يكمن في انه ركز انتباهه على املاح الاورانيوم وكان هذا المعدن معروفاً منه

تماماً . ولكن يجب ان نُعجب بعنايته بعمله . فقد عرَّض بكريل املاح الاورانيوم للشمس ليجعلها مشعة . وعندما اعوزته الشمس ، ترك ملح اورانيوم في الدرج بالقرب من صفيحة فوتوغرافية ، وأولاها عنايته بأن « ظهّرها » قبل أن يبدأ تجاربه . ولاحظ انها قد انطبعت ، وعندها ادرك انه لا توجد اية علاقة بين التشعيع وهذا المفعول الفوتوغرافي .

العناصر الاشعاعية : البولونيوم والراديوم ـ تابع بكريل اعماله وبيّن ان « الاشعة الدورانية » من شأنها كما اشعة رونتجن ، ان تجعل الهواء المحيط بها موصلاً . ومنشأ هذه الطاقة المستمرة الانبعاث اثار اهتمام بيار وماري M. Curie (المولودة من عائلة سكلودوسكا) ؛ وقررت ماري كوري بناء لنصيحة ب . كوري القيام ببحوث حول هذا الموضوع . وبدأت عملها في 16 كانون اول 1897 .

تختصر الصورة 7 الجهاز التجريبي الذي استعملته م . كوري ابتداء من 20 كانون الثاني 1898 والذي يتيح قياساً كمياً للتأيين الحاصل بواسطة اشعة بكريل .

ان الشحنات الكهربائية الملتقطة في سطح غرفة التأيين يعوض عنها بالشحنات المتفاعلة فوق صفيحة من الكوارتز عندما تخضع هذه الصفيحة لجهد ميكانيكي . ان هذه القاعدة في قيامس التيار الضعيف جداً كان قد وضعها جاك وبيار كوري ؛ وهي تستخدم ظاهرة البيزوكهربائية (الضغط) التي قاما باكتشافها .



صورة 7 ـ قياس التأيين المستحدث بفعل أشعة بكريل (ماري كوري 1898) .

لاحظت ماري كوري في الحال بواسطة قياساتها الدقيقة ان التشعيع هو خصوصية ذاتية لـذرّة الاورانيوم ، وان زخم هذا التشعيع يتناسب مع كمية الاورانيوم المحتواة في الملح . وبحثت أيضاً فيما اذا كانت مركبات اخرى تمتلك نفس الخصوصية وبينت ، بذات الوقت مع ج . شميدت ، من مونستر Münster ، ان التوريوم يعطي تشعيعاً مماثلاً لتشعيع الاورانيوم . واقترحت اطلاق اسم « المشعات الناشطة » على المواد التي تصدر عنها اشعة بكريل وان يطلق اسم النشاط المشع (Radioactivité) على هذه الخصوصية الجديدة ، والعناصر التي تحتوي هذه الخطوط هي « العناصر المشعة » . ولاحظت وهي تقوم بهذا العمل ، بعد ان كانت تفحص ليس فقط املاحاً

محضـرة في المختبر بـل أيضاً أشبـاه معادن (مثـل بشبلانـد ، شالكـوليت واوتونيت ، وثـوريـت ، الخ .) ، ان بعضاً منها يمتلك قدرة تشعيعية غير اعتيادية ، تفوق بكثير القدرة التشعيعية التي كـان يمكن توقعها من خلال ما فيها من أورانيـوم أو توريوم .

من ذلك مثـلاً ان البشبلند (معيدن اوكسيد الاوران) يمتلك قدرة تشعيعية تفوق باربع مرات قـدرة الأورانيـوم ، وإنّ الشـالكـوليت (فـوسفـات النحـاس والأوران المتبلّر) أكثـر تشعيعـاً من الأورانيـوم . في حين أن أي معدن لم يكن ليبدو أكثر نشاطاً من الأورانيـوم والتوريوم .

ولشرح هذا الحدث المعجب طرحت مـاري كوري فـرضية وجـود مادة جـديدة اكثـر نشاطـا اشعاعياً من الاورانيوم او من التوريوم . وتعاون بيار وماري كوري بصورة اوثق من اجل محاولة عزل هذا العنصر الجـديد (اذار 1898) . وكـانت جهودهمـا تبذل ضمن ظـروف ماديـة مأسـوية بشكـل خاص . فتوصلا الى اكتشاف البولونيوم واذاعا النبأ في 18 تموز 1898 ، والى اكتشاف الراديوم (26 كانون الأول سنة 1898) .

ان وجـود هذه العنـاصر الجـديـدة ، وان بـدا اكيـداً ، فقـد تحّفظ العـديـد من العلمـاء في اعتمـاده . وبحث بيار ومـاري كـوري علي الحصـول منهـا على كميـات اكثـر اهميـة . فقـد سبق لديمارسي Demarçay ان حقق على عيِّنة من الباريوم المشع ذي النشاط المتفوق بستين ضعفاً على الاورانيـوم ، خطاً جديداً بعيار Å 3815 اسند الى الراديوم . ولكن بعد عمل ناشط وطويل حصل بيار وماري كوري على املاح الباريوم اكثر فـاكثر تـركيزاً بـالراديـوم مكنتهما من استشفـاف وجود قلوي ترابي اثقل من الباريوم . في سنـة 1902 (تموز) استـطاع بيار ومـاري كوري ، بعـد جهد فـادح ، اعـداد 100 ملغ من كلورور الراديوم النقي وقد كـان اول تحديـد للوزن الذري لهـذا العنصر . ومنذ 1904 ، انشأ الصناعي الفرنسي ارمت دي ليسل Lisle ، أول صناعة لاستخراج الراديوم . وفي سنة 1910 استطاعت ماري كـوري وآ . دبيرن Debierne ، بعـد تحليل (الكتـروليز) كلورور الراديوم المذوب ، عزل الراديوم بحالته المعـدنية ، ممـا اقرّ بشكـل كامـل فردانيـة هذه المـادة الجديـدة . ويمكن تتبع تطور هذه البحوث الرائعة في سجلات مختبر بيـار وماري كـوري ، بعد نقـل محتواهـا الى كتاب ماري كوري عن « بيار كوري » (باريس 1955) .

تطور البحوث حول النشاط الاشعاعي ـ اطلقت اعمال بيـار وماري كـوري عدداً ضخمـاً من البحوث . فقد تم اكتشاف العديد من العناصر المشعة تباعاً وفقاً لطرق البحث التي وضعاها .

لقـد تمّ عزل الاكتينيـوم من قبل آ . دبيـرن Debierne (1899) والراديـوم D المسمى يـومئـذ الـرصـاص المشـع من قبـل الستـر Elster وجيتـل Geitel وهـوفمـان Hoffman وشتـروس Straus (1902) ، والراديو تـوريوم والميـزوتوريـوم من قبل و . هـاهن O. Hahn (1905) والايونيـوم من قبل بولتوود Boltwood (1907) ، والبروتاكتينيـوم (1918) وضع مـوضع التحقيق بـان واحد من قبـل و . هــاهن ول . متنـر L. Meitner ومن قبـل ف . سـودي F. Soddy وج . آ . كـرانستـون J. A. Cranston . وتوبعت هذه الاعمال الكيميائية حول العناصر المشعة بصورة رئيسية في مختبرات بيار وماري كوري في فرنسا ، ومختبـرات ف . سودي في انكلترا ومختبرات س . مـاير S. Meyer في النمسا . وتم ايضاً اكتشاف ذراتٍ ضعيفة الاشعاعية بين عناصر ذات وزن ذري خفيف : البوتاسيوم

(طومسون 1905) والروبيديوم Rubidium (كمبل وورد Campel et Wood (1906)) وبعد ذلك بكثير سنة 1932 بيّن فون هيفيسي ان الساماريوم هو عنصر مشع ناشط .

بذات الوقت قامت اعمال فيزيائية متعددة . واستطاع بيار وماري كوري ان يثبتا منذ 1899 من « النشاط المحثوث » في المواد الموضوعة بالقرب من الراديوم . وفي سنة 1900 بيَّن روذرفورد ان الثوريوم يولد « اشعاعات » . واثبت دبيرن كذلك ان الاكيتينوم يولد مخزوناً ناشطاً . ونجح سودي وروذرفورد في تسييل ما ينبثق عن الثوريوم . وفي سنة 1910 اكد و . رامسي ور . و . غراي ان هذا الغاز هو عنصر من اسرة الغازات الجامدة ذات الوزن الذري البالغ 222 . واطلق اسم رادون على هذا العنصر مُذ عُرِفَ ان الامر يتعلق بمنتوج من تفكك الراديوم .

ومنذ 1901 اقترح كُلٌ من بيار كوري وماري كوري وهـ . بيكريل وج . برين فرضيات ، من بين جملة فرضيات تفضي الى تفسير النشاط الاشعاعي وكأنه تحول ذري يولد طاقة كامنة موجودة في الذرة المشعة الناشطة . وفي أيار 1903 افترض روذر فورد وسودي ، بعد تجاربهما حول المنبثقات ، ان النشاط الاشعاعي يُرَدُّ الى تفكك ذري (انظر لاحقاً) .

وفي بداية سنة 1903 اثبت كُلٌ من بيار كوري وآ . لابورد Laborde ، تصاعد الحرارة عفوياً من الراديوم . وكان هذا الاكتشاف شديد الاهمية لانه يُبين ان الطاقة المتصاعدة ، وان كانت ضعيفة جداً من حيث قيمتها المطلقة الا انها كانت ضخمة للغاية اذا نسبت الى كتلة الذرة ، وانها لا يمكن ان تنبثق عن هذه الكتلة الا بعد تحول في ذرات الراديوم ذاتها .

وكتب بيار كوري ولابورد في هذا الشأن فقالا : « ان التصاعد المستمر لمثل هذه الكمية من الحرارة لا يمكن ان يُفَسَّر بتحول كيميائي عادي . وان نحن بحثنا عن منشأ انتاج الحرارة في تحول داخلي ، فان هذا التحول يجب ان يكون ذا طبيعة اعمق ويجب ان يُعزى الى تحول في ذرة الراديوم ذاتها . ان مثل هذا التحول ، اذا كان موجوداً فانه يحصل ببطء متناهٍ ، لان خصائص الراديوم لا يعتريها تغير مشهود بخلال عدة سنوات . واذا كانت بالتالي الفرضية السابقة صحيحة ، فان الطاقة العاملة في تغير الذرات سوف تكون كبيرة بشكل غير عادي » .

واخيراً وفي سنة 1903 ايضاً بيَّنَ رامسي وسودي ان الراديوم يولد الهيليوم بصورة مستمرة . ولاول مرة امكن الحصول على عنصر كيميائي وهو الهيليوم انطلاقاً من عنصر آخر هو الراديوم ؛ هذا البرهان لعب دوراً حاسماً لصالح نظرية تحولات الاجسام الناشطة اشعاعياً .

وهذه السنة 1903 اعتبرت منعطفاً رئيسياً ؛ فقد قدمت اساساً متيناً لنظرية التحولات الذرية التي اوضحها روذر فورد وسودي ، ووجهت البحوث في طرق جديدة خصبة للغاية .

الاشعاعات . الطرق الاولى لاكتشافها ـ وبسرعة فائقة امكن التوصل الى تقسيم اشعاعات الاجسام المشعة الى ثلاث فئات (α, β, γ) ثم تم التعرف على الصفات الاساسية لهذه الاجسام . وتُبِعت هذه الاعمال بشكل رئيسي في كُلٍ من فرنسا وانكلترا والمانيا ، ومنذ 1909 بيَّن ي . روذرفورد عن طريق الامتصاص ان الاورانيوم يُرسل على الاقل نوعين من الاشعاعات ذات قدرات خارقة مختلفة جداً . وسمّي المركب القليل النفاذ « أشعة α » والمركب الاكثر نفاذاً « أشعة β » ،

وفي سنة 1909 بيّن كُلّ من روذرفورد ورويدس Royds ان اشعة α هي ذرات هليوم مؤينة مرتين ، وقرر بيار وماري كوري ان الشحنات التي تنقلها اشعة β هي شحنات سلبية . واثبتت القياسات المتتالية ان شحنة شعاع β تساوي الشحنة الاولى وشبهت بالالكترونات . ولاحظ ب . ڤيلار لاول مرة اشعة قدرتها النفاذة اعلى بكثير من قدرة اشعة β فسماها « اشعة γ » وهذه الاشعاعات التي لا تحرفها الحقول الكهربائية أو المغناطيسية تعتبر ذات قدرة تأيينية ضعيفة ، وهي تعتبر كاشعاعات كهرمغناطيسية .

ان تقدم طرق الالتقاط قد لعبت بالطبع دوراً ضخماً في تطور معارفنا . ومنذ اكتشاف النشاط الاشعاعي عُرِفَ ان الاشعة المنبعثة تطبع الصفائح الفوتوغرافية ، وتحدث توهيجاً لمواد متنوّعة ، وتجعل الغازات موصلة للكهرباء .

ويشوب الطريقة التي تستعمل الصفيحة الفوتوغرافية التي اتاحت اكتشاف النشاط الاشعاعي عيب انها لم تقدم اشارة دقيقة بشكلٍ كافٍ حول زخم الظاهرات الاشعاعية . ومع ذلك فقد استعملت للحصول على صورة مسار الرزم ، خاصة عند دراسة تأثير الحقول المغناطيسية . واستعمل بيار وماري كوري عاجلاً وسريعاً ظاهرة التأيين التي تساعد على القياسات الكمية والتي أتاحت لهما القيام بالارصاد التي أدت إلى اكتشاف العناصر المشعة .

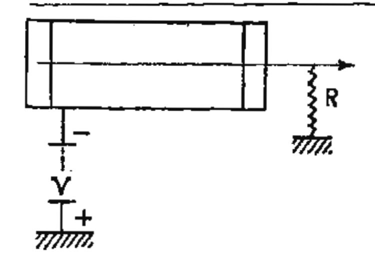
وسرعان ما عُرفت الجدوى الحاصلة من جراء ترقيم الاشعة ، اي اكتشاف كُل جزئية بمفردها . وبيّن كُلّ من كروكس Crookes والستر Elster وجيتل Geitel ، سنة 1903 أن اشعة α عندما تصل الى شاشة فلوريسانية مثل البلاتينو سيانور من الباريوم ، أو من سلفور الزنك ، فانها اي الاشعة تُحدث في نقطة الالتقاء بريقاً قصير الامد جداً . وهذا الاسلوب في الترقيم شاع استعماله واتاح اكتشافات مثمرة .

وابتداءً من سنة 1911 استطاع الفيزيائيون بفضل ش . ت . ولسن Wilson الوصول الى وسيلة مدهشة في الملاحظة والرصد : هي الغرفة الاسترخائية والتي تسمى عادة غرفة ولسون . ويتيح هذا الجهاز رؤية المسارات الفردية للجزئيات المؤينة : من اشعة α أو β .

وتقوم الطريقة على استحداث تركيز حبيبات من الماء فوق الايونات المحدثة على طول المسار ، وبالتالي جعل مقطع الاشعة مرئياً . ويتم الحصول على هذه النتيجة باحداث ارتخاء مفاجىء في غرفة تحتوي على غاز مشبع ببخار الماء . واثناء هذه العملية ، تنخفض درجة الحرارة في الوسط المحيط ؛ ولوحظ انه ضمن بعض الشروط ، لا يوجد تكثيف لبخار الماء بل اشباع عالٍ جداً . ومع ذلك واذا وجدت ايونات فان التكثيف يحدث فوق هذه المراكز المحثوثة : وهكذا يحدث مرور جزئية في الغرفة قبيل الارتخاء تماماً ، وعلى طول المسار ، سلسلة من الايونات تتجمد أو تتجسد بتشكل حبيبات رفيعة من الماء . وأن هي اضيئت بقوة ، فان هذه الحبيبات تنشر الضوء مما يتيح تصويرها .

في سنة 1931 انجز روذرفورد وجيجر Geiger جهازاً للترقيم الكهربائي يُرقم الجسيمات الفردية . واستكمل سنة 1928 ، خاصة على يد مولر Muller، وما يزال يستعمل حتى اليوم تحت اسم عدّاد جيجر ـ مولر .

اذا اجتازت جزئية مؤينة وسطاً غازياً حيث يسود حقل كهربائي قوي فان الايونات الموجودة بفعل مرور الجزئية وهي تتحرك بسرعة ،تستطيع بدورها استحداث تأيين الغاز وتفاعلية تراكمية جارفة تتيح الحصول على رفع التوتر رفعاً من شأنه ان يصبح سهل المراقبة .



صورة 8 ـ رسم لعدّاد جيجر ـ مولر .

ومثل هذا الجهاز رُسِمَ في الصورة 8 المجاورة . هناك اسطوانة قطرها عدة سنتيمترات يقطعها من الداخل خيط وفيها يوجد حقل مغناطيسي قوي من جراء فرق الكمون V .

وكل هذه الطرق قد استكملت فيما بعد استكمالاً ضخماً وولدت دائماً تقدماً مهماً .

تطور المواد المشعة . العائلات ـ لاحظ وليم كروكس التغيرات في النشاط المشع ، في عيّنات الاورانيوم العادي والاورانيوم X الذي استطاع هو فصله . وفي سنة 1902 لاحظ آ . روذر فورد وف . سودي ملاحظات مماثلة ونجحا في رسم منحنى التفكك في بعض المواد المشعة واستطاعا توضيح مفاهيم الثابتة المشعة ذات الحياة الوسطى . ان نظرية التحولات المشعة الناشطة التي قدّماها (المجلة الفلسفية ، أيار 1903) ، قد أتاحت التنسيق بشكل متماسك بين المعارف حول الاشعاعات وحول المواد المشعة الجديدة ذات الحياة القصيرة .

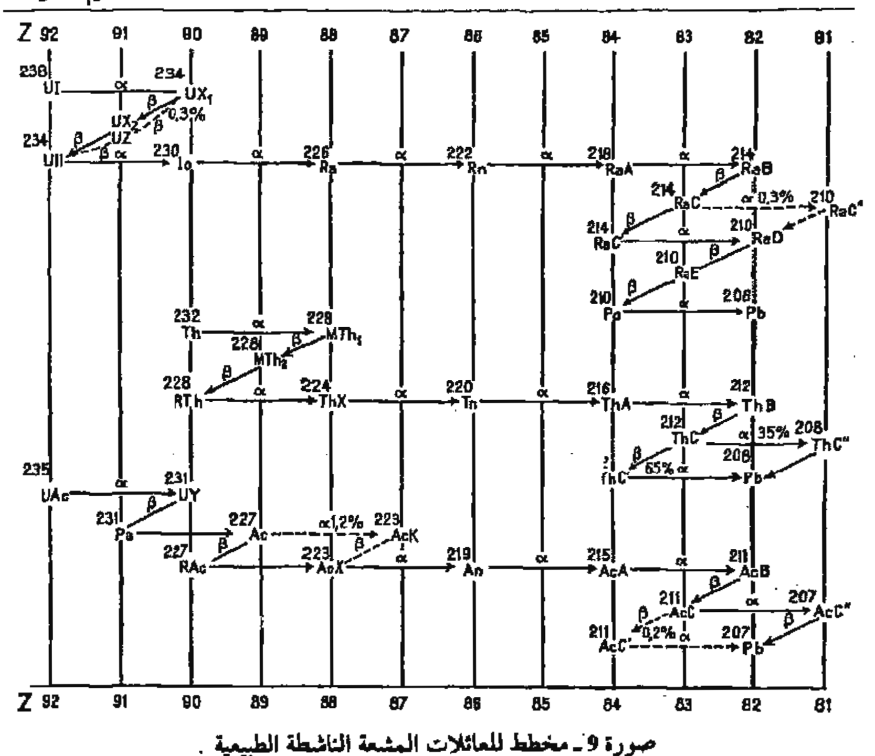
تفترض هذه النظرية ان النشاط الاشعاعي هو خصوصية ذرية وانه يترجم تحول ذرات النوع المدروس الى ذرات جديدة من نوع مختلف . وتتلقى الذرة الناشطة اشعاعياً في فترة من الفترات تحولاً مقروناً بتصاعد تشعيع ، تحولاً لا يتعلق بالشروط الفيزيائية أو الكيميائية القابلة للتحقق على الارض .

واسس نظرية تطور المواد المشعة تترجم بالتالي بقانون أُسّي هو التالي :

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ وفيه تمثل N عدد الذرات التي ، في اللحظة t لم تلق التطور و N_0 يمثل عدد الذرات الموجودة في اللحظة $t = 0$ اما λ فتمثل خصوصية تعبر عن سرعة التطور . ويمكن ان نمثل ايضاً هذا القانون بالشكل التفاضلي التالي $dN = -\lambda N dt$ باعتبار ان عدد الذرات dN التي تتحول بخلال الزمن dt يتناسب مع العدد N الممثل للذرات الموجودة .

وقد امكن منذ ذلك الحين تبيان ان العناصر المشعة لها فيما بينها علاقات وراثية توليدية وانها تشتق اما من الاورانيوم أو من الثوريوم . وهكذا امكن تشكيل ما يسمى « بالعائلات المشعة الناشطة » التي تختصر بأية تفاعلية يمكن لمادة ما أن تتحول بها إلى مادة أخرى : اما عن طريق النشاط المشع α أو عن طريق النشاط المشع β . وهذه العلاقات أتاحت استباق معرفة وجود بعض العناصر التي لما تكتشف في حينه مثل اليونيوم والبروتاكتينيوم .

الاثار البيولوجية للاشعاعات ـ لاحظ بيار كوري وبيكريل ، بعد وكهوف Walkhoff وجيتل



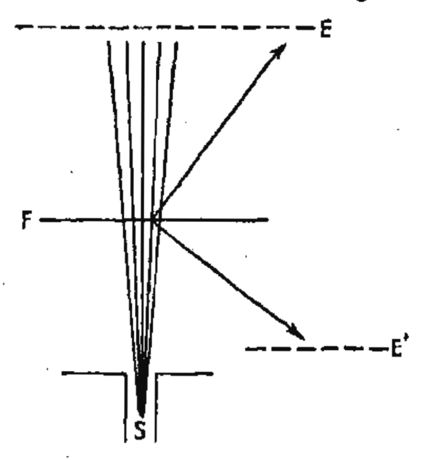
صورة 9 ـ مخطط للعائلات المشعة الناشطة الطبيعية .

Geitel ان الاشعاع الحادث بفعل كرة تحتوي على الراديوم يتسبب بحروقات .

ثم عرض بيار كوري بارادته ذراعه لتأثير ملح الراديوم . ومنذ 1904 قام الطبيب الفرنسي دانلوس بالمحاولات الاولى للاستخدامات الطبية للراديوم لمعالجة سرطان الجلد . واهمية التطبيقات العملية استمرت تتزايد منذ ذلك الحين . وقد اطلقت تسمية الاستطباب الكوري ، على استخدام الأشعة طبياً إما بشكل مصدر خارجي أو بشكل مصدر داخلي . وقد جربت تجارب متنوعة منذ ذلك الحين لتفحص تأثير النشاط الاشعاعي على نمو النباتات . وقد بينت هذه الآثار وبسرعة ضرورة اتخاذ عدد من الاحتياطات عند استخدام المصادر المشعة وذلك تجنباً للمخاطر التي يمكن ان يحدثها تسليط المواد المشعة ، وكذلك مفعول الاشعاعات الخارقة الآتية من الخارج .

اكتشاف النواة . النظائر المشعة ـ بعد مضي خمس أو ست سنوات خصبة جداً على اكتشاف النشاط المشع كان لا بد من انتظار سنة 1911 والسنوات التي تلتها حتى تظهر النتائج المتقدمة الجديدة والأساسية ، وبصورة خاصة اكتشاف النواة والتنقلات وذلك على يد روذرفورد . وحوالي سنة1911 كان من المعروف ان الالكترونات تدخل في تكوين الذرات ، وبيَّن باركلا Barkla ان كُل ذرة تحتوي على A/2 من الالكترونات تقريباً . وتخيل ج . ج تومسون نموذجاً للذرة اعتمد تقريباً بشكل عام ، وبموجبه تتوزع الالكترونات داخل كرة مشحونة ايجابياً . وللتثبت من

هذه الفرضية خطرت لروذرفورد فكرة استعمال الاشعاعات الصادرة عن الأجسام المشعة وخاصة أشعة α . في مثل هذا النموذج يعتبر الانحراف المقبول بالنسبة إلى جزئية α الذي يجتاز الذرة هو في أقصاه من درجة إلى درجتين . ولكن التجربة بينت أن بعض الانحرافات التي تزيد عن 90 درجة موجودة بصورة خاصة في النواة الثقيلة . والصورة 10 تمثل الجهاز التجريبي . عند الحرف S نضع مصدراً مشعاً لأشعة α . و F تمثل ورقة معدنية سماكتها بعض ميكرونات و E و 'E هما شاشتان عند SZ_n يمكن من خلالهما رصد وقع الجسيمات α من خلال البريق واللمعان .



صورة 10 ـ التثبّت من وجود نواة ذرّية (أ . روذرفورد ، 1911) .

هذه الانحرافات الكبرى التي لوحظ وجودها لأول مرة من قبل روذرفورد وتلميذيه جيجر ومارسدن Marsden قد فسرها روذرفورد نظرياً حين افترض ان كلّاً منها مصدرة صدمة وحيدة من جزئية α تصدم هذه الذرات . ولتوضيح هذه الظاهرة كان لا بد من افتراض وجود نواة مركزية تعادل كتلتها كتلة الذرة ، وافتراض وجود شحنة مماثلة في قيمتها المطلقة إلى مجموع الشحنات التي تحملها الالكترونات . وكانت هذه التجارب في غاية الأناقة حيث تجلت فيها عبقرية روذرفورد بشكل واضح . وعدد الانحرافات الكبرى التي تسمّى صدمات استثنائية لا يبلغ في الواقع سوى بعض الوحدات بالنسبة لمئة ألف جزئية α .

وأتاحت تجارب روذرفورد أيضاً الحصول على ترتيب الضخامة في أحجام النواة كما قدمت أولى مظاهر تثيرها القوى النووية .

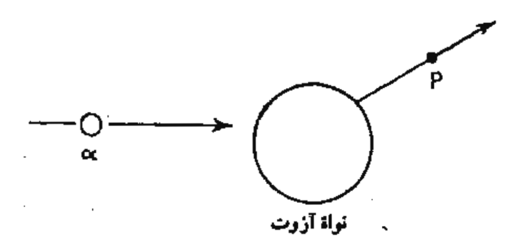
وبالنسبة إلى النوى الثقيلة فان قانون كولومب يكفي لتفسير الصدمات غير العادية ، اما بالنسبة إلى النوى الخفيفة ، وبالنسبة إلى زوايا الانتشار الكبيرة بما فيه الكفاية ، فان عدد الأشعة α المبثوثة لا يتوافق مع تنبؤات قانون روذرفورد (الصدمات غير العادية) . وهكذا بالنسبة إلى النوى الخفيفة ، تستطيع الجزئية α ان تقترب اقتراباً كافياً من النواة حتى لا يحدث نمط جديد من القوة : القوى النووية (ان المسافات المنظورة هنا هي من عيار 10^{-13} من السنتيمتر) .

وهذه الوقائع هي في أساس النموذج الكوكبي للذرة نيلس بوهر (1913) .

وفي نفس السنة (1913) تقريباً اكتشف ج . ج . تومسون النظائر المستقرة . فعندما درس الكتلة الصحيحة لذرات النيون لاحظ وجود نوعين من الذرات من كتلة 20 و 22 ، فاصدر عندها الفرضية بان النيون يحتوي على غازين لهما خصائص كيميائية شبه متماثلة سماهما ف . سودي ايزوتوب أو نظائر مشعة . وتمت العودة إلى هذه الأعمال سنة 1919 من قبل ف . و . استون Aston الذي قرر وجود عدة نظائر مستقرة في عدد كبير من العناصر . واكمل اكتشاف النظائر المستقرة بشكل منسجم دراسة العناصر المشعة . وهذه الدراسة أدت وفقاً لفرضية سودي حول التحولات المشعة الناشطة ، إلى افتراض وجود ذرات متوافقة مع القيمة Z انما ذات كتلة وذات خصائص مشعة مختلفة ويمكنها ان تحتل نفس المربع في جدول مندلييف .

التنقلات (1919) ـ تتوافق التنقلات مع الواقع القائل بان النواة يمكن ان تتحول عندما تخضع لقذف بالجزئيات التي من شأنها ان تدخل في نطاق المجال النووي . ويعود الفضل في هذا الاكتشاف المهم إلى آ . روذرفورد الذي استطاع ، في مختبر كافنديش في كمبردج ان يلاحظ ان قذف الازوت باشعة α يُظهر بروز بعض ايونات الهيدروجين أو البروتونات (صورة 11) . وتخيل ان هذه البروتونات تصدر عن النواة عندما يكون الجسيم قادراً على التفاعل مع هذه النواة . وبسرعة أمكن توضيح خصائص هذه الانتقالات : ولوحظ أنّ الطاقة الحرارية في البروتونات المبثوثة يمكن أن تكون أعلى من الطاقة الحركية الموجودة في الجسيم α النازل وبالتالي فان الطاقة الداخلية في النواة تتدخل في عملية الانتقال . وفي سنة 1923 لاحظ ب . م . س . بلاكت Blackett ، وهو يصور في غرفة ولسون ما يقارب من 400 ألف مسار ، وجود ثماني حالات تحولية . واستنتج من دراسة هذه المسارات ان الجزئية α تأسرها النواة عند حدوث عملية الانتقال : وهذا التفاعل يكتب كما يلي :

$${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$



صورة 11 ـ انتاج بروتون بقذف نواة الآزوت بالأشعة α .

وكانت المرة الأولى التي يجري فيها الإنسان تحويل نوع من الذرات (الازوت) إلى نوع آخر (أوكسجين) ، محققاً بالتالي حلم الخيميائيين . واليوم أصبحت التحولات (التفاعلات النووية) تحقق بواسطة قذائف متعددة الانواع .

وفي الحال تم الافتراض بان مبادىء حفظ الطاقة ومبادىء كمية الحركة يجب توفر شروطها

اثناء التحولات ، وبشكل خاص ان تتوافق الطاقة الداخلية مع تغير كتلة النظام . من ذلك انه في التفاعل المذكور اعلاه نكتب : $M_N + M_x = M_0 + M_p + Q/c^2$ وفي هذه المعادلة تمثل Q الطاقة العاملة في التفاعل و c^2 تمثل مربع سرعة الضوء ، اما Q/c^2 فهي تتناسب مع كتلة ما (وفقاً لمعادلة انشتين $E = mc^2$) .

الاشعاعات الناشطة β و α ـ ابتداء من سنة 1920 وحتى حوالي سنة 1930 قامت أعمال عدة بقصد توضيح المعارف المكتسبة حول العناصر المشعة وحول شروط بث الاشعاعات وخصائص هذه الاشعاعات .

وحوالي سنة 1907 لاحظ كل من هـ . و . شميدت ، وو . هاهن ول . ميتنر Meitner بأن الأشعة β تمتص وفقاً لقانون أسّي ، بعكس اشعة α ذات المسار المحدد في المادة . وفيما بعد أثبتت تجارب الانحراف المغناطيسي التي قام بها و . ولسون وج . آ . غراي ، وج . شادويك ، ولأول مرة ، ان أشعة β تشكل طيفاً دائماً من الطاقة وتعطي بالتالي تفسيراً لقانونها الامتصاصي . الا ان خطوطاً ظهرت متراكمة فوق الطيف المستمر ؛ وانه في حوالي سنة 1922 فقط تم فهم انها خطوط انقلاب داخلي مرتبطة ببث الفوتونات : فالانقلاب الداخلي هو ظاهرة بموجبها تنتقل الطاقة المحررة من النواة إلى الكترون من الموكب الالكتروني .

ومنشأ الصفة المستديمة لأشعة β بقي سراً لمدة طويلة . وفي سنة 1925 قدم كل من ش . د . آليس وووستر Wooster ثم في سنة 1930 قدم كل من ل . ميتنر واورتمان Orthmann مشاركة مهمة حين كشفوا ان الطاقة المتوسطة لأشعة β هي من عيار ثلث الطاقة القصوى ؛ ولكن في سنة 1933 فقط استطاع آليس ون . ف . موت Mott ان يبينا ان الطاقة القصوى هي الطاقة المحررة اثناء التحول عن طريق النشاط الاشعاعي β ، مبينين بشكل نهائي الصعوبة الأساسية وبموجبها يبدو قسمٌ مهم من الطاقة المحررة زائلاً اثناء النشاط الاشعاعي β . وحفاظاً على مبدأ حفظ الطاقة اقترح بولي منذ سنة 1931 وجود جزئية افتراضية ، هي النترينو ، كتلتها وشحنتها معدومتان وان هذا النترينو ، المنبثق بذات الوقت مع الكترون التفكك هو الذي يحمل الطاقة المفتقدة .

وحتى سنة 1929 ساد الظن بان كل عنصر اشعاعي مرسل α يتميز بمجموعة واحدة فقط من أشعة α ذات الطاقة (أي ذات المسار) المحددة تماماً . وبتطبيق طريقة التحليل الطيفي التسجيلي نصف الدائري ، اكتشف س . روزنبلوم Rosenblum في سنة 1929 البنية الدقيقة مبيناً ان أشعة α للمعيار Thc تتألف من مختلف مجموعات طاقة قريبة جداً . وأظهر العديد من الاعمال يومئذٍ عمومية الظاهرة . وحتى سنة 1928 كان بث أشعة α من قبل النوى يعتبر أيضاً أمراً غير مفهوم . وبهذا الشأن ، ثبت ان أشعة α التي يبثها الاورانيوم تمتلك طاقة من عيار 4 Me V في حين ان أشعة α من عيار 8 Me V تنحرف بفعل النوى وفقاً لقانون كولومب ، أي انها لا تخترق المجال النووي . وتفسير هذه الأحجية اعطي بآنٍ واحد من قبل غامو ومن قبل غورني وكوندون الذين طبقوا الميكانيك التذبذبي على مسألة البث α وبينوا وجود احتمال ضعيف في ان تخترق الجسيمة α حاجز قوة النواة (1928) .

وهكـذا وفي حوالي سنـة 1930 ادت الاعمال التي جـرت حول النشـاط الاشعاعي ، بشكـل رئيسي في كل من فرنسا وانكلترا والمانيا والنمسا ، إلى معرفة شبه كـاملة لعائـلات العناصـر المشعة الطبيعية والى معرفة الخصائص الرئيسية لهذه العناصر المشعـة ولاشعاعـاتها ، معـرفة بـدت يومئذٍ مرضية . وظن البعض ان علم النشاط الاشعاعي قد وصل بشأنها إلى مرتبة يقتضي فيهـا فقط القيام باعمال دقة . ولكن ظهر بعث جديد للنشاط الاشعاعي وللفيزياء النووية .

II ـ النشاط الاشعاعي والفيزياء النووية من سنة 1930 إلى 1940

اكتشـاف النتـرون (النيـوتـرون) ـ منـذ تحقيق آ . روذرفـورد في سنـة 1919 لأول نقلة مستحدثة ، قـام العديـد من الباحثين يكـرسـون أنفسهم لـدراسـة هـذا الفـرع الجـديـد من العلم واستطاعوا ان يبينوا انتقال عدد كبير من العناصر الخفيفة بعد قذفها بأشعة α من مادة البولونيوم .

وكان زخم المصادر المستعملة الضعيف وندرة الظاهرة لم يساعدا على معرفة ماهية العناصر المتكونة ، وحده الدرس المقذوفي يمكن ان يبين بالمثل انه يتشكل في الالومينيوم المقذوف بأشعة البولونيوم α سيليسيوم في حين ينقذف ويستبعد بروتون بطاقة كبيرة .

في سنة 1928 أثبت غورني Gurney وكوندون Condon وغامو Gamow ان امكـانية الحصـول على تحول بواسطة جزئية مشحونة ايجاباً تتعلق بشدة بقوى دافعةٍ كهربائية بين هذه الجـزئية والنـواة الهدف . وعاد كوكروفت Cockroft إلـى مسألة انتاج البروتونات ذات السرعة الكافية .

وعلى كـل ان احد أولى الاكتشـافات في الـدراسة التجـريبية للتحـولات قد جـرت بفضل استعمال التشعيع الموجود في العناصر المشعة الطبيعية .

في سنة 1930 أثبت و . بوث Bothe وهـ . بيكر H. Becker ان عدداً ما من النوى الخفيفـة ، مثل البريليوم والليثيوم ، والبور (bore) بصورة رئيسيـة ، ترسـل تشعيعاً شـديد النفـاذ عندمـا تقذف بأشعة α الموجودة في البولونيوم . هذا التشعيع قادر على اجتيـاز سماكـات مهمة من المـادة ، عدة سنتمترات من الرصـاص مثلاً ، دون تخفيف ملحـوظ . وباستعمـال حسابـات كلين Klein ونيشينا Nishina اقترح بوث وبيكر تفسير هذا الاختراق ، بواسطة الطبيعة الكهرمغناطيسيـة لهذا التشعيـع ، وبـواسطة طـاقة مـرتفعة (14 MeV في حـالة البريليوم) تفـوق بكثير اشعـاعات (غـاما) المعـروفة والمدهشة في تلك الحقبة .

وقد اثار « تشعيع البريليـوم » المنسوب إلى بـوث وبيكر ، العـديد من الاعمـال التجريبيـة ، ولكن بعـد سنتين توصلت ايـرين كوري Irène Curie وفـردريـك جـوليـوت F. Joliot إلى اكتشـاف خصوصية اكثر ادهاشاً في هذا التشعيـع . فبفضل الكميـات المهمة من العنـاصر المشعـة الطبيعيـة المتاحة في مؤسسة الراديـوم في باريس ، استـطاعا تحضيـر مصادر قـوية من البـولونيـوم ، ودراسة تشعيع بوث وبيكر في ظروف ملائمة جداً . وباستعمـال غرفـة تأيين ذات حـاجز من الـومينيوم رقيق كلاقط كاشف ، استطاعا ملاحظة وجـود تزايـد كبير ومهم في تيـار التأيين ، وذلـك بعد وضـع ورقة رقيقة من مادة هيدروجينية (سِلُوفان) بين المصدر والكاشف .

هذا المفعول عُزي ، كما دلت علي ذلك تجارب الامتصاص ، الى تشعيع ثانوي تبثه المادة الهيدروجينية وتمتصه باكمله غشاوة رقيقة جداً من الالومينيوم . ان خصائص هـذا التشعيع الثانوي تشبه تماماً خاصة « أشعة H » (البروتونات) الامر الذي ثبت بعد رصد بروتونات التراجع في غـرفة ويلسون .

ان طاقة بروتونات التراجع التي لحظتها ايرين كوري وف . جوليوت لم تكن تتناقض تنـاقضاً أساسياً مـع فرضيـة طبيعة كهرمغناطيسيـة لاشعاع بـوث Bothe وبيكر Becker ، ولكنهـا تؤدّي الى افتراض وجود طاقة من عيار 50 Me V . ان هذه الطاقة العالية جداً ، لم تكن ، على كل ، تتناقض مـع بعض التفصيلات التجـريبية ومـع ما كـان معروفـاً في السـابق عن مـظاهـر الـطاقـة المـرتبـطة بالتحولات .

وتمت العودة إلى هذه التجارب من قبل ج . شـادويك J. Chadwick ، وفيـلدر Feather ودي Dee في كمبـريدج ، ومن قبـل ب . أوجيـه P. Auger وم . بـروغلي ، وديبـري ـ لاتـور Dupré - Latour ولوبرنس ـ رنغيه Leprince - Ringuet وج . تيبوه J. Thibaud في بـاريس ومن قبل رازيتي Rasetti في برلين . وأثبتت هذه التجارب الجديدة النتائـج التي توصـل إليها كـل من ايرين كـوري وف . جوليوت ، وقدمت تناقضـات جديـدة بين الخصائص التجـريبية للتشعيـع التي قال بهـا بوث وبيكر وبين فرضية طبيعتها الكهرمغناطيسية .

وإذاً بقيت الطبيعة الصحيحة لهذا التشعيع قيد الاكتشـاف . ومنذ 1920 ، تنبأ لورد روذفـورد بـوجود جـزئية حيـادية ذات كتلة قـريبة من البـروتون سمـاهـا نيـوتـرون neutron (نتـرون) . هـذه الفرضية ، التي استعيدت فيما بعد ، من قبل فيزيائيين آخرين ، لم تكن ترتكـز في سنة 1932 على أي أساس تجريبي أو نظري . في مختبر كافنديش ، حيث نشأت هذه الفرضية ، أنجز يومئـذ صنع كاشف لاقط جديد : غرفة التأيين ذات النبض (التذبذب السريع) .

حتى ذلك الحين ، كانت اللاقطات المستعملة تتألف بصورة أساسية من غرفة تـأيين ، غرفـة ولسون ومن العداد ذي اللمع البصري . وساعد تـطور التقنيات الالكتـرونية على استعمـال لاقطين جديدين : غرفة التـأيين ذات التفريـغ ، أو عداد جيجـر ـ مولر ، وغرفـة التأيين التنـاسبية أو ذات الذبذبات .

ويعطي هذان اللاقطان الكاشفان ذبذبة كهربائية اثناء مرور جزئية مؤيّنة ضمن الحجم المفيـد من العـداد . بالنسبـة إلى الكـاشف الأول ، يكفي زوج واحـد من الايـونـات لاطـلاق التفـريـغ ، وضخامة الذبذبة الكهربائية المقدمة كـانت ثابتـة ، مهما كـانت الطاقـة المهدورة من قبـل الجزئيـة المؤيّنة . وبالنسبة إلى الكاشف الثاني ، بالمقـابل ، تكـون ضخامـة الذبـذبة متنـاسبة مـع الطاقـة المهدورة من قبل الجزئية المؤينة داخل الغاز الموجود في الغرفة . ويتيح قيـاس الكمية الكهـربائيـة الذبذبية ، استبدال التحليل الطويل والدقيق للكليشهات المتوفرة بواسطة غرفة ويلسون .

وبواسطة هذا الكاشف ، استطاع جامس شادويك ان يبرهن على ان نوى التراجع المحدثة بفعل تأثير اشعاع بوث وبيكر على مختلف العناصر تتأتى من صدمة مطاطية مع جزئية حيادية ذات كتلة تقارب كتلة البروتون .

والتفاعل المتعلق بالبريليوم يمكن ان يصور على الشكل التالي : $^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$ والرمز الأخير يدل على النيوترون (أو النترون) .

وأتاح اكتشاف النيوترون تجريبياً من قبل شادويك ادخال مركب جديد للنوى الذرية وبالتالي استبعاد المصاعب الرئيسية من النماذج النووية السابقة . ويمكن لنواة ذات شحنة Z وذات وزن ذري A ان تبنى من Z بروتون ومن A - Z نيوترون . ان النموذج للذرة الحيادية المتكونة بفعل النواة واطارها من Z الكترون لا يقتضي وجوداً مُستصعباً للالكترونات داخل النواة . واكتشاف النيوترون أعطى الأسس المتينة للنماذج النووية المستقبلة .

الالكترون الإيجابي ـ ضمن الكليشهات الولسنية [نسبة إلى ويسلون] التي حصلت عليها ايرين كوري وف . جوليوت عند دراسة نوى التراجع ، يمكن ان نلاحظ عدة مسارات الكترونية ذات طاقة كبيرة ، يبدو بعضها منحنياً باتجاه معاكس بفعل التيار المغناطيسي ، آتياً من منطقة بعيدة عن المنبع ومتجهاً إليه . وبعد شرح هذه المسارات بفعل أثر ثانوي تحدثه النيوترونات في جوانب الغرفة ، فاننا نصطدم بعدد من التناقضات . ان الطاقة القصوى للالكترونات ، بشكل خاص ، لا يمكنها ان تفسَّر بصدام بين النيترون والالكترون . وظن أ . كوري وف . جوليوت ان المسارات المراقبة ، تأتي بآنٍ واحدٍ من بثٍ γ صادر عن المنبع Po - Be وعن بثٍ γ معزوٍ إلى اشعاع ثانوي محفوز بالنيوترونات في جوانب الغرفة .

وأثبتت الفرضية الأولى فيما بعد ، ولكن منطلق المسارات المنحنية باتجاه معاكس قد عثر عليه في مجال الاشعاع الكوني . واشار ش . د . اندرسون ، وهو يدرس كالعديد من الفيزيائيين الآخرين الاشعاع الكوني بواسطة غرفة ويلسون ، إلى وجود جزئيات فيها مشحونة شحناً إيجابياً . وفسر في بادىء الأمر هذه الاثار بوجود بروتونات ذات طاقة كبيرة ، ولكنه تأكد فيما بعد ان قسماً من هذه المسارات الايجابية يُعزى إلى جزئيات ذات كتلة أصغر بكثير من البروتون فسماها « بوزيترون » .

وكان عدد المسارات الحاصلة على يد اندرسون ضئيلاً ، اذ ، وفقاً لطرق الارتخاء الدوري ، كان 1% فقط من الكليشهات يحمل اثر مرور جزئية مؤينة . وحصل بلاكت واوشياليني Occhialini ، عند اطلاقهما لارتخاء غرفتهما بفعل عدادين جيجر ـ مولر متطابقين ، على أكثر من 80% من الكليشهات المستعملة واستطاعا ان يبينا ان الجزئيات الايجابية التي قال بها اندرسون هي ذات كتلة معادلة إلى أقصى حد لكتلة الالكترون .

واذاً فهناك وجود لالكترونات ايجابية سبق ان تنبأت بها نظرية ديراك ، منذ سنة 1930 ؛ كما اتضح وجود مسارات لالكترونات منحنية باتجاه معاكس في كليشهات ويلسون ، الحاصلة اثناء

دراسـات الشعاع بـوث وبيكر ، بنـور جديـد . وأكدت التجـارب التي عاد اليهـا كل من ل . ميتنـر وفيليب ، شـادويـك ، بـلاكت واوشيـاليني ، على وجـود مسـارات لاحـظهـا إ . كـوري وف . جوليوت ، وبينت ان الكترونات ايجابية يمكن خلقها ضمن شاشات رصاصية توضع داخل الغرفة .

وبعد درس زخم الالكترونـات الايجابيـة تبعاً للرقم الـذري للشاشـة ، بين ا . كوري وف . جوليوت فيما بعد ان القسم الاعظم من الالكترونـات الايجابيـة يعزى إلى فعـل التشعيع α الصـادر عن المنبعPo - Be فوق الشاشة الرصاصية . ولاحظ أندرسـون ، ميتنر وفيليب ، ا . كـوري وف . جوليوت بآنٍ واحدٍ ان التشعيع α الناشط الصادر عن بعض العناصر المشعة الطبيعية ، يعـطي نفس الظاهرة .

وبينت هـذه الاعمال ان فـوتونـاً ذا طاقـة كبيـرة ، حين يلتقي نـواة ، يتحـول إلى الكتـرونين بإشارتين مختلفتين . ان هذه « المادية » ، بحسب التعبير الذي اقترحته ماري كوري تتطلب انفـاق طاقة تعادل الكتلة السـاكنة في الكترونين ؛ والطاقة الاضافية المحتملة للفوتون تتوجد من جـديد في الـطاقة الحـركية المـوجودة في الالكتـرونين . وهكذا تفسـر ظاهـرة الامتصاص الاضـافي لأشعة α الملحوظة فوق (1,1 Me V) من قبل جنتنر Gentner .

وبوجه مقابل ، قضت نظرية ديراك ان الكتروناً ايجابياً يجب ان تكون حياته قصيـرة في المادة ثم يتـلاشى عند الاتصـال بالكتـرون سلبي ، ويقترن تحـطيم الكتـرونين بـصورة رئيسيـة بـالبث المتعـاقب ، وباتجـاه معاكـس ، لفـوتونين من عيـار 511 Ke V . هذه الـظاهرة الأخيـرة أثبتهـا بـآن واحدٍ ، ف . جوليوت وج . تيبوه ، وذلك بامتصـاص رزمة من الالكتـرونات الايجـابية في المـادة وبعد درس الاشعاع α الصادر بواسطة عداد جيجر ـ مولر (1933) .

النشاط الاشعاعي المصطنع ـ في بعض الحالات ، قد تحدث ظاهرة تجسيد الفوتون ضمن حقل النواة الصادرة . وهذا « التجسيد الداخلي » قـد لوحظ من قبـل ا . كوري وف . جـوليـوت اثنـاء دراسة بث الالكتـرونات الايجـابية من قبـل البيريليوم المقذوف بـالجزئيات α المـوجـودة في البـولونيـوم . ان نظريـة هذه الـظاهرة المحققـة ، بعد ذلـك بقليل ، من اوبنهيمـر Oppenheimer ونيدلسكي Nedelsky ، تنسجم مع عدد الزوجين e^{+} - e^{-} الملحوظين بصورة تجريبية . وبالمقابـل ، ان بث الالكترونات الايجابية من قبل الفليور ، والالـومينيوم ، والصـوديوم والبـرر ، وكلها مشعّـة (irradiés) ، لا يمكن تفسيـره من خلال هـذه الظاهـرة ، وهذه الالكتـرونات سميت « الكتـرونـات ايجابية تحويلية » من قبل ا . كوري وف . جوليوت . ان تحويل هذه العناصر تحت تأثير الجزئيات α يقترن عموماً ببث بروتونٍ ذي طاقة كبيرة ، وفي بعض الأحيان يتصاعد نترون والكترون إيجابي . ان هذين التفاعلين المختلفين ينتهيان إلى نفس العنصر الثابت .

ان دراسة الحصيلة الطاقوية في هذين التفاعلين أتاحت لـ ا . كوري ف . جوليوت ان يعطيا تحـديداً جـديداً لكتلة النتـرون وان يبينا انـه ، بخلاف مـا هو معتقـد ، هذه الكتلة تـزيـد عن كتلة

البروتون . وقد تأكدت هذه النتيجة ، بعد ذلك بقليل ، من قبل شدويك وجولدهابر Goldhaber في دراسة التفكك الضوئي Photodésintégration للدوتون ، نواة النظير الثقيل للهيدروجين المكتشف سنة 1932 من قبل أوري ، وبركويدل ومورفي (Urey, Brickweddl, Murphy) .

وفي الأيام الأولى من سنة 1934 ، أدّت دراسة « الكترونات التحوّل » بإيرين كوري وف جوليوت إلى اكتشاف مهمّ في الشروط التالية التي نقلها ف . جوليوت :

« بعد إظهار أنّ تحوّلات مثل تحوّلات ^{10}Be ، و F, Na, Al ، بفضل أشعة ∝ الصادرة عن البولونيوم ، تولد بثاً للنترونات والبوزيتون ، أخذنا نبحث بالدرجة الأولى عما إذا كان بث النترون وبث البوزيتون يحدثان في نفس العتبة من طاقة أشعة ∝ النازلة ، وبالدرجة الثانية ، وإذا كان الأمر كذلك ، اذا كان بث النترون وبث الالكترون الايجابي قد حصلا بآنٍ واحد » .

« في الماضي بيّن احصاء طاقات البوزيتون الصادر ، المستخلص من احصاء أشعة انحناء مسارات ضباب هذه الجزئيات انا تجاه طيف يشبه طيفاً مستمراً لـ β الصادرة عن عنصر مشع طبيعي . ومع ذلك ، فاننا ، في البداية لم نأبه لهذه المماثلة . ونفذنا برنامج البحوث المعروض في مطلع هذا المقطع . في المقام الأول أخذت النترونات والبوزيتونات تبث بفعل ذات الطاقة من أشعة ∝ (نفس العتبة) ، ولكن ، وهنا يكمن الحدث الأساسي في الاكتشاف ، لاحظنا بعد بث مع أشعة ∝ ذات طاقة فوق عتبة بث النترونات والبوزيتونات ، إذا ارجعنا طاقة أشعة ∝ الى تحت العتبة أو حتى إلى الصفر ، أنّ بث النترونات يتوقف في الحال ، في حين يستمر بث البوزيتونات في الحدوث » .

وتتأتى « الكترونات التحويل » إذاً عن نمط جديد من النشاط الاشعاعي . وتورد المذكرة الموجودة في « تقارير اكاديمية العلوم » في 15 كانون الثاني سنة 1934 ، بآن واحد اكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي وابتكار أسلوب جديد من تفكيك أشعة β بواسطة بث الكترونات ايجابية . وبعد ذلك بأيام ، ذكرت مذكرة جديدة أول برهان كيميائي على التحولات عن طريق التحليل الكيميائي للعناصر المشعة المستحدثة .

وهكذا تمّ تفسير عملية بث الالكترونات الايجابية من قبل الالومينيوم المشع : ان التفاعلات النووية $^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$ تعطي نظيراً فوسفورياً كتلته 30 ناشطاً شعاعياً β^{+} ذا وقت يقارب ثلاث دقائق $^{30}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + ^{0}_{1}e^{+}$ والسيليسيوم ذو الكتلة 30 هو نظير مستقر . وهكذا يمكن ان نفسر النشاط الاشعاعي β^{-} عن طريق تحويل نترون الى بروتون داخل نواة والنشاط الاشعاعي الجديد β^{+} بالتفاعلية المعاكسة .

وسرعان ما تمت العودة إلى هذه التجارب في عدة بلدان . وأكد اليس واندرسون وميتنر ، وفريش Frisch وآخرون غيرهم . النتائج التي حصل عليها ا . كوري وف . جوليوت . وقد اقترح هذان الاخيران ان عناصر أخرى ناشطة اشعاعياً يمكن العثور عليها وذلك بتشعيع العناصر المعروفة بواسطة قذائف متنوعة مثل : جزئيات α ، وبروتونات ، ودوتونات ونترونات . ولوحظ عندئذ ان سرعات الجزئيات التي حققها كوكروفت ووالتون في انكلترا ، وا . لورنس Lawrence في

الولايات المتحدة قد انتجت كميات مهمة من العناصر المشعة الاصطناعية . وتطور البحوث في هذا المجال وكذلك تحسين سرعات الجزئيات قد خلقا علماً جديداً : الكيمياء النووية . وتمت التجارب الأولى بواسطة كل الوسائل المتاحة : مصادر مشعة ناشطة طبيعية ومسرعات للجزئيات ، وأخذت لائحة العناصر المشعة الجديدة تتزايد يوماً بعد يوم .

وتاريخ هذا العلم الجديد قد طبع ، منذ بدايته ، بالأعمال التي قام بها مختبر انريكو فرمي في روما . وكان فرمي يمتلك جملة من الراديوم وجهازاً لاستخراج الرادون مما أتاح له ان يحقق مصدراً للنترونات عن طريق قذف ∝ البريليوم بشكل مسحوق موضوع داخل انبوب من الرادون .

ومنذ ان علم فرمي Fermi بما نشرته ا . كوري مع ف . جوليوت ، تحقق من ان استخدام مثل هذا المصدر للنترونات يمكن ان ينمي بشكل ضخم امكانيات خلق عناصر مشعة اصطناعية جديدة . اذ بالفعل ، ان صدّ شحنة النواة للجزئيات المشحونة إيجابياً يقتصر على النوى الخفيفة بامكانية التفاعلات النووية المنبعثة . ومثل هذا العيب لا يؤثر بالنسبة الى النترون ، ويصبح من الممكن بالتالي الحصول على تفاعلات نووية بواسطة كل عناصر التصنيف الدوري .

في آذار سنة 1934 قام فرمي بالتجربة . وبعد محاولاتٍ عظيمة تناولت عناصر التصنيف الدوري الأولى ، لاحظ وجود نشاط اشعاعي جديد وذلك بتشعيع الفليور . وباستعمال مناهج الكيمياء المشعة ، استطاع فرمي ومعاونوه ان يفصلوا ، بخلال عدة أشهر ، عدداً كبيراً من العناصر المشعة الخفيفة والثقيلة . وكانت هذه العناصر تتوفر بفعل التفاعلات النووية (n, α) و (n, p) ، بالنسبة إلى النوى الخفيفة (n, 2n) و (n,γ) بالنسبة إلى النوى الثقيلة . وبعد ستة أشهر تقريباً من بداية التجارب ، لاحظوا عرضاً ان النشاط الحاصل من جراء التفاعلات (n,γ) كان أكثر زخماً بكثير ، عند تدخل الماء أو البارافين بين المنبع والعنصر المشعع . ان النترونات السريعة المنبعثة من المنبع ، تتباطأ بالصدمة المطاطية فوق بروتونات المادة المهدرجة hydrogénée ، وتصبح « بطيئة » ، ثم « ذات حرارة » أي في حالة توازن طاقوي مع الاضطراب الحراري الحاصل في المبطّىء . واستطاعوا بالتالي اثبات ان اسر نترونٍ من قبل نواةٍ يصبح كثير الاحتمال عندما تكون سرعة النترون أكثر بطأً ، وعندما يكون الوقت الماضي بقرب النواة أكبر . وبالنسبة إلى بعض سرعات النترون ، لاحظوا فضلاً عن ذلك تزايداً متقطعاً في الامتصاص الذي يتسم بميزات الرجع الحق أو الصدى .

وبفضل هذه التحسينات في تقنية انتاج العناصر المشعة ، نجح فرمي ومعاونوه في انتاج نظائر مشعة ناشطة من كل العناصر باستثناء الهيدروجين والهليوم وقسمٍ من العناصر المشعة الطبيعية .

انشطار الأورانيوم ـ في تفاعلات الاسر التي درسها فرمي يؤسر نترون من قبل النواة المشععة وتطلق النواة المتكونة جديداً قسماً من الطاقة المكتسبة بارسال شعاع γ . واذاً فالنواة الجديدة هي نظير للمادة الأولى ، وفي أغلب الاحيان يكون هذا النظير غير مستقر بفعل كثافة النترونات فيه ، ومن هنا تفككه أو انشطاره اللاحق بعد بث الكترون سلبي . وهكذا يتم الحصول

في النهـاية على نـواة ذات شحنة ايجـابية اكبـر وتنتمي الى عُنصر من المـرتبـة العليـا في التصنيف الدوري . ان هذه التفاعلية التي بدت وكأنها هي القاعدة بالنسبة الى كل النوى الثقيلة كان لهـا نفع خاص اذا طبقت على العنصر الأخير في السلسلة أي على الأورانيوم ذي العيار الذري 92 .

وقام فرمي ورازيتي واغوستينو بالتجربة ووجدوا أربعة عناصر مشعة جديدة زمنها عشـر ثـوان وأربعون ثانية وثلاث عشرة دقيقة وساعة وثلاثون دقيقة . ولم يكن العنصران الأخيـران نظيـرين لأي عنصر مجاور لـلأورانيوم . وأضـاف استخدام « مفعـول البارافين » نشـاطات أخـرى جديـدة وأدت البحـوث المجراة الى وجـود عنصرين « عـابـرين الى الأورانيـوم » 93 و 94 وسمّيـا بشكـل عـارض « انسينيوم وهسبيريوم » .

وقام باحثون آخرون في هذا الوقت بالاهتمام بدراسة نشاطات متـأتّية عن الأورانيـوم المشعع بالنترونات واكتشف هاهن ، وليز ميتنر وستراسمان Strassman بشكـل خاص تشكـل عدد كبيـر من العنـاصر المشعـة الجديـدة وخلصوا الى انشـاء أسرة من العنـاصر العـابرة الى الاورانيـوم والمرتبط بعضها ببعض بروابط مشعة ناشطة تمتد من الرقم الذري 93 الى الـرقم 97 . وسميت هذه العنـاصر بـالتدرج ايكـار هينيوم وايكـا وسميوم وايكـا ريديـوم وايكا بـلاتين وايكا وور ، آخـذين في الاعتبار تماثلها الكيميائي التدرجي . واصطدم هذا التـأويل على كـل حال بمصـاعب كبيرة . وادى العـدد المتزايد باستمرار في العناصر المشعة العابرة الى الاورانيوم وكذلك شدة زخم تشكلها مثلاً الى عدد مسرف من النشاطات المتنوعة بالنسبة الى نفس النظير (المتجازئات الاشعاعية) .

وبحثاً عن جواب لهذه الأسئلة ، درست ايرين كوري وسافيتش Savitch النشاطات المتكـونة بفعل انتقاء الاشعاع بواسطة الشاشة الماصة للنحاس . واعـطى الانفصالُ الكيميـائي لنشاط جـديد متكـون من حقبة ثـلاث ساعـات ونصف سمات الـلانثـان الكيميـائيـة ، واستنتجت ايـرين كـوري وسافيتش وجود عنصرٍ ناقل الى الاورانيوم له صفات التربة النادرة ، مع الإشارة الى الصعوبـات في مثل هذا التفسير . ولم تستطع اعمال أخرى أجراها بشكل خاص براون وبريسورك وشيرر ودروست حل هذه المسألة .

وبخلال العام 1938 وأشار هاهن وستراسمان الى نشـاطات جـديدة ممـاثلة كيميائيـاً للباريـوم وعـزوها في بـادىء الأمر الى نـظائر للراديـوم وبعدهـا أخضعوهـا لتحليل كيميـائي دقيق . وعملت النتيجـة النهائيـة لهذا العمـل ، والتي نشرت في 6 كـانون الاول 1939 على حـل مسـألـة نـاقـلات الاورانيوم ، بشكل مدهش . واستنتج هاهن وستراسمان ما يلي :

« انـا ككيميائيين ، وسنـداً للتجارب المـذكورة اضـطررنا الى تغييـر التسميات » . . . « ثم وضع مكان Ra, Ac, Th ، الـرموز : Ba, La, Ca . ونحن « ككيميـائيين نوويين » قـريبين بشكل من الأشكال من الفيزياء ، لا نستطيع الجزم حتى الآن بالقيام بهذه القفزة المعـاكسة لكـل التجربـة الحالية في الفيزياء النووية . اذ ربما دفعتنا سلسلة من المصادفات الغريبة الى الضياع والضلال » .

ان هذه السلسلة من المصادفات العجيبـة لم تكن قـد حصلت وفسّرت ليز ميتنروفـريش هذه النتيجة باستعمال النموذج النووي المسمى « النقطة السائلة » ، والذي اقترحه نيلس بوهر . ان نواة

الاورانيوم تنقسم إلى قسمين خفيفين بعد أثر نترون واحد ، « وهذه الأجزاء الانشطارية » سنداً للتعبير الذي استعمله كلّ من ميتنر وفريش ، كانت نظائر مشعة لعناصر وسطى في التصنيف الدوري .

وهكذا كانت « الناقلات الى الاورانيوم » في معظمها نتائج انشطار ، وكان النشاط السري ثلاث ساعات ونصف الذي قالت به ايرين كوري وسافيتش مزيجاً من اللانثان والايتريوم الناشطين اشعاعياً . وآثار مقال هاهن وستراسمان نشاطاً علمياً كبيراً ، وعن طريقين مختلفين قدم جوليوت وفريش على التوالي البرهان الفيزيائي على وجود الانشطار . وكل النظائر الطبيعية للاورانيوم لم تساهم في الانشطار وبيّن ن . بوهر ان النظير القليل الوجود 235 للاورانيوم هو المسؤول عن ظاهرات انشطار الاورانيوم بفعل النترونات الحرارية .

التفاعلات المتتابعة والطاقة النووية ـ اثناء تكون أجزاء الانشطار نراها تمتلك زيادة مهمة في النترونات بالنسبة الى النوى في العناصر المتوسطة المستقرة . ويتحول قسم من هذه النترونات الى بروتونات اثناء بث الاشعاعات β^- المتتالية ، ولكن العديد من الفيزيائيين اعتقدوا بوجوب وجود بث قسم من النترونات الزائدة اثناء الانشطار بالذات . وقد أثبتت هذه الظاهرة بصورة مستقلة من قبل فرمي واندرسون ونانشتاين Nanstein ، ومن قبل زيلارد وزين Zinn وف . جوليوت وهالبان Halban وكوارسكي Kowarski ، وكان العدد الأوسط للنترونات المنبثقة عن الانشطار يتراوح بين اثنين وثلاثة ونصف .

وهكذا ومنذ 1939 بدا وكأن هناك حلاً قد وجد لمسألة تحرير الطاقة النووية . وكان الانشطار يقترن بتحرير كمية مهمة من الطاقة ؛ طاقة حركية لأجزاء الانشطار ، ونشاطات اشعاعية β متتالية ، في حين ان بث النترونات قد يتيح تغذية الانشطار في كتلة من الأورانيوم . وعلى كُلٍ أمكن التنبوء بالصعوبات العملية الكبرى ، لان النترونات السريعة المبثوثة اثناء الانفصال يجب تبطيئها حتى يمكن ان تستوعبها فيما بعد نواة الاورانيوم 235 مع احداث منتوج يفوق الوحدة بقليل .

وأجريت محاولات مهمة في فرنسا من قبل جوليوت وهالبان كوارسكي وف . بررين . واستطاع هؤلاء بعد استعمال مجموعة متنافرة من أوكسيد الاورانيوم والماء الثقيل ، ان يحققوا تشكل تفاعل نووي متسلسل ومتلاق كما استطاعوا ان يبينوا انه بواسطة كميات كافية من الاورانيوم والماء الثقيل الشديد النقاء يصبح من الممكن الحصول ثم السيطرة على التفاعل التسلسلي المغذي . وتوضحت هذه الاستنتاجات بواسطة تقارير سرية وضعت امام اكاديمية العلوم وكذلك بواسطة خمس براءات حصلت بواسطة الصندوق الوطني للعلوم بين أول آيار 1939 وأول آيار 1940 . وأدت الهزيمة الفرنسية امام الالمان واحتلال فرنسا الى توقف هذه البحوث . اما كمية الماء الثقيل التي اشترتها فرنسا من النروج فقد نقلت الى انكلترا حيث استطاع هالبان وكوارسكي ان يثبتا بصورة نهائية الامكانية العملية للقيام بتفجير نووي متفاعل .

وفي الولايات المتحدة درس فرمس وزيلارد ووغنر Wigner وزين في جامعة كولمبيا ثم في برانس تاون شبكة متكونة من الاورانيوم والغرافيت . وفي النهاية تم تفريع أول مفاعل ذري صنع

في شيكاغو تحت اشراف فرمي وذلك في 2 كانون الأول 1942 .

وعملت الحرب واحتلال المانيا لفرنسا ولقسم كبير من أوروبا على تغيير عقلية البحث النووي وتطوره بشكل جذري في العالم أجمع . فالمبادلات العلمية قد توقفت بفعل الحرب طيلة عدة سنوات وبشكل خاص في مجال الفيزياء النووية ؛ ومنذ 1939 كان العديد من الفيزيائيين يتوقع القوة التدميرية الهائلة الموجودة في الطاقة النووية . ثم منذ 1940 أخذت الأبحاث تتوالى في الولايات المتحدة في سرية مطلقة ، وبوسائل بدت في بادىء الأمر متواضعة ، ثم أخذت تزداد أهمية أكثر فأكثر .

هذه الوسائل كانت تجب زيادتها بالجهود التقنية والعلمية التي بذلتها الولايات المتحدة منذ دخولها في الحرب العالمية . والتطور السريع جداً في التقنيات ، والالكترونيك بشكل خاص ، قد اعطى ووفر وسائل ما تزال تزداد طاقتها لمجموعات الفيزيائيين الاميركيين ، المستقوين بمجيء العديد من العلماء الأوروبيين . وظلت نتائج هذه الجهود سرية حتى بعد نهاية الاعمال الحربية .

وهكذا لم يكن ممكنا معرفة الاهتمام باطلاق الذرية من عقالها الا في سنة 1945 ، أي في وقت القاء القنبلتين الذريتين على هيروشيما وناغازاكي . وكان للانطباع الحاصل من الآثار المدمرة لهذه الأسلحة ان سلط انتباه العالم أجمع على أهمية التقدم الحاصل بخلال بضع سنوات . ولكن كان يلزم الكثير حتى يمكن الكشف عن النتائج العلمية الحقة ، وكان لا بد عملياً من انتظار سنة 1948 حتى ينشر أول تقرير مهمّ عن النتائج . وبخلال الفترة 1940 - 1948 كانت البحوث قد تتابعت في بلدانٍ أخرى وأعطيت عنها تقارير مفصلة . من ذلك انه في بعض المجالات المهمة ، من الفيزياء النووية ، كان كل تطوير علمي طبيعي مستحيلاً ، وتاريخ هذا المجال بخلال هذه الفترة لم يكن يرتكز على أي أساس تاريخي تسلسلي ذي قيمة .

فضلاً عن ذلك وعقب ركود سنوات الحرب وهجرة عدد كبير من العلماء إلى الولايات المتحدة الأميركية فان المجهود العلمي في البلدان الاوروبية عاد الى الانطلاق وساهم من جديد في تقدم العلم .

وهذه المساهمة الدولية ، مضافة إلى الاهتمام الذي اثارته الفيزياء النووية ، والى المعدات الجديدة الموضوعة بتصرف الفيزيائيين مثل : مسرعات الجزئيات ، الكترونيك سريع ، لاقطات جديدة ، أدت الى تطوير معقد وجريء وطموح للفيزياء النووية ولتطبيقاتها العملية .

واذن فمن الوهم ، نتيجة استحالة العودة للوراء ، محاولة السعي لترتيب مجمل التطورات في الفيزياء النووية منذ سنة 1940 لغاية الوقت الحاضر ترتيباً تسلسلياً ؛ ومن الافضل ، على ما يبدو ، الرجوع الى تطور الافكار والى تسلسل الاكتشافات في كل فرع من مختلف الفروع التي تؤلف في الوقت الحاضر ، البناء المعقد للفيزياء النووية .

III ـ النشاط الاشعاعي والنماذج النووية

مختلف أشكال النشاط الاشعاعي ومنهجية النوى الذرية ـ حتى بداية سنة 1934 لم تعرف الا النظائر المشعة الأربعون تقريباً الطبيعية والمنتمية بشكل أساسي الى العناصر الكيميائية الاكثر

ثقلاً ، ابتداء من الثاليوم الى الاورانيوم . لقد اكتشف ف . وإ . جوليوت كوري النظائر الثلاثة الاولى المشعة الاصطناعية . وفي سنة 1937 تم اكتشاف 190 منها ، وفي سنة 1941 عرف منها 370 وفي سنة 1949 تم التعرف الى ما يقارب من 800 عنصر ، واليوم هناك أكثر من ألف .

ان كل العناصر الكيميائية وكل سلسلة الحقب الانشطارية أصبحت ممثلة : بعض العناصر لم تعرف الا من خلال نظائرها المشعة .

ولانتاج هذه النظائر المشعة الجديدة ، بعد جزئيات ∝ الصادرة عن العناصر المشعة الطبيعية ، ثم النترونات البطيئة التي استعملها فرمي ومعاونوه ، تمّ الاكثار من استعمال الدوتونات المسرّعة . ومنذ الحرب حلت الحاشدة الذرية ، في اغلب الاحيان محل المسرعات ذات الجزئيات من اجل انتاج هذه النظائر .

وبذلت جهود لانتاج هذه العناصر المشعة ، من جهة بسبب تطبيقات بعضها (صوديوم ـ 24 ، فوسفور ـ 32 ، حديد ـ 59 ، يود ـ 131 المكتشفة قبل الحرب ؛ ثم الكاربون ـ 14 وكثير غيرها اكتشفت بعدها) ، ومن جهة اخرى لدراسة ولاكتشاف مختلف خصائص النشاط الاشعاعي في هذه النوى : نموذج وتصميم الانشطار . وزيادة على النشاط المشع بفضل بثّ اشعة ∝ وبث اشعة $\beta-$ (المعروفة بفضل النشاط المشع الطبيعي) ، والنشاط الاشعاعي $\beta+$ (المثبت عند اكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي) ، اكتشف النشاط الاشعاعي عن طريق أسر الكترون مداري ذري يجر ، مثل بث $\beta+$ ، إلى تحويل نواة ذات شحنة Z إلى نواة ذات شحنة $Z-1$ (اكتشاف الاسر K من قبل الفاريز Alvarez سنة 1937) .

ومن جهة اخرى يمكن لبعض النوى الثقيلة جداً ان تتحطم بالانشطار العفوي بغياب اي تأثير خارجي (اكتشاف الانشطار العفوي للاورانيوم من قبل فليروف Flerov وبترزاك Peterzjak سنة 1940) ؛ وبعض النوى فوق الاورانيوم [التي يفوق عدد ذراتها ذرات الاورانيوم] مثل الفرميوم ـ 256 لا تبدو وكانها تتحول بالانشطار (سيبورغ Seaborg واعوانه) . ان بعض النوى المشعة تتفكك ايضاً بعد بث بروتون أو نترون : من ذلك في النشاط الاشعاعي للآزوت ـ 17 وفي نشاط البروم ـ 87 يكون البثّ $\beta-$ متبوعاً ببث نترونٍ واحدٍ . وتمّ ايضاً اكتشاف تحول اشعاعي حيث يبقى تركيب النواة من بروتونات ونترونات على حاله : فبعض النوى يمكن ان تبقى لوقت طويل نسبياً في حالة إثارة فوق الاستقرار وتعود إلى الحالة الأساسية مع بثّ اشعاع γ ، أو عند اللزوم ، الكترونٍ انقلابي داخلي . ان هذه الظاهرة ، الثابتة تجريبياً على البروم ـ 80 من كورتشاتوف ومعاونيه سنة 1935 ، سميت تجازئية (isomérie) : وتفسيرها النظري يعود الى ويزساكر Weizsäcker (1936) .

ان كل نماذج هذا النشاط الاشعاعي قد درست بعناية ؛ وعدد الاشعة المبثوثة يتناسب دائماً مع عدد النوى المشعة الحاضرة ، من هنا تنازل أو تراجع اسي دليلي بخلال فترة مميزة .

وانطلاقاً من هذه النتائج امكن تحقيق تصنيفية للنوى المستقرة والمشعة ; فقد وضع جدول بالنظائر بوضع عدد البروتونات Z على محور السينات (abscisse) وعلى الإحداثي الرأسي (ordonnée) عدد الكتلة A (المساوية لعدد النترونات n) . ونرى عندئذ ان النوى المستقرة تتجمع

بقرب خط مستقيم N = Z ، مع وجود زيادة في النترونات بالنسبة الى النوى الثقيلة . وتتحول النوى المشعة غير المستقرة إلى نوى أكثر استقراراً وأكثر ارتباطاً ، وكلّما بعدت نواة مشعة عن منطقة الاستقرار كلما قصرت فترة تقلصها ، وسطياً ، كما ان الطاقة المحررة عند التحول المشع تصبح أكثر ارتفاعاً .

وتتطابق بعض اعداد النترونات والبروتونات مع صور واشكال مستقرة بنوع خاص : وقد سميت لذلك « بالارقام السحرية » (إلسامر Elsasser ، 1934 ؛ م . ج . ماير ، 1949) .

وقد بُذِل جهْد من اجل تحديد ـ تجريبياً ونظرياً ـ طاقة ارتباط النوى .

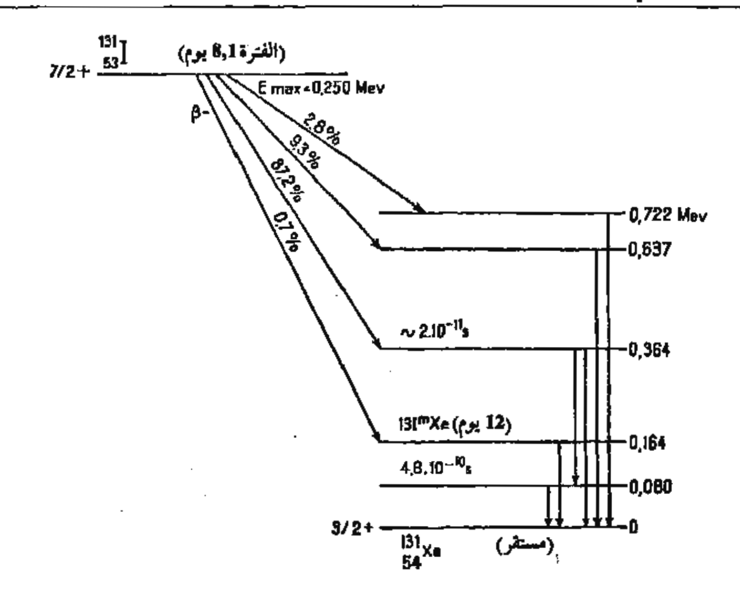
وحصِّلت النتائج التجريبية بواسطة « المنظرة الطيفية » للكتل ، وكذلك الحال بالنسبة الى مخطّطات الانشطارات (صورها) والتفاعلات النووية . ان الطاقة الكاملة لاتصال نواة ما تتحدد ، كما الطّاقة الضرورية لفصلها ، بكل نكليوناتها (نويّاتها) التكوينية . وهكذا تبين ان طاقة الاتصال الوسطى بالنسبة الى النكليونة (طاقة الاتصال الشاملة مقسومة على A) هي تقريباً : ($8\ M_eV$) ، ولا تتغير كثيراً بين نواة واخرى ، الا فيما خصَّ العناصر الخفيفة جداً : ان النوى الوسطى تكون نوعاً ما اكثر ارتباطاً من النوى الاخرى .

ان هذه النتائج ، وكذلك التثبت من ان النوى هي على العموم كروية تقريباً وان حجمها متناسب بصورة تقريبية مع عدد النكليونات ، حملت الفيزيائيين على استعمال صورة كلاسيكية وعلى تشبيه النواة بنقطة سائل غير قابل للانضغاط وذي كثافة عالية . ومنذ سنة 1935 ، استطاع ويزساكر Weizsacker ان يقدم صيغة اولى نصف تجريبية لكتل النوى : وقد كان هذا النوع من الصيغ مفيداً جداً فيما بعد لاستباق معرفة الكتل وطاقات الاتصال ، وخاصة لاحتساب الطاقة المحررة عند الانشطار .

ودراسة صور التحطم الاشعاعي ، ثم دراسة التفاعلات النووية ، اتاحت ، بخلال الثلاثين سنة الماضية تجميع عدد ضخم من المعلومات الكمية عن مستويات طاقة النوى .

وكما الذرات والجزيئات ـ انما بطاقات اكبر بكثير ـ فان كل نواة تمتلك عددا من المستويات السرية من الطاقة ، كل واحد منها يتوافق مع حركات داخلية مختلفة . وتكون هذه المستويات ، عموماً متلاصقة اكثر كلما كانت طاقة الحث اكبر . ان نواةً ما تمر من مستوىً الى آخر ادنى منه بفضل بث اشعاع γ أو بث الكترون تحول داخلي . وكل مستوىً ، زيادة على طاقته ، يمكن اذ يتحدد بعدد من السمات المميزة الكمية : العزوم الزاوية ، التعادل ، الخ .

ومشى التقدم الفيزيائي مع التقدم التقني جنباً الى جنب : فقد اتاحت المناهج التجريبية الرجوع إلى هذه المميزات عن طريق دراسة المستويات وذلك انه تمّ تحسينها بشكل قوي . فقد امكن تطوير مقاييس مطيافية مغناطيسية تتيح تحديد الاطياف المتواصلة β ، واطياف الخطوط α ، وخطوط الكترونات التحول الداخلي لتشعيعات γ ، وذلك بدقة وضبط يزيد على واحد بالالف في الطاقة ، في العديد من المختبرات (ك . سيغباهن K. Siegbahn في السويد مثلاً) . وقياس



صورة 12 ـ مثل عن مخطط للتحطم النووي .

معاملات التحول الداخلي لانتقالات γ ومقارنتها مع الحسابات النظرية (روز Rose وسليف Sliv خاصة) قد لعب دوراً كبيراً . واتاح ظهور الانابيب الالكترونية (التي تضاعف الصور بتكثيف الضوء) بعد الحرب العالمية الثانية ، ازدهاراً عجيباً في تقنية المطيافية التي تستخدم اللمعان أو الإيماض .

هذه التقنية الاخيرة حلت ، في الكثير من الحالات محل عدادات جيجر ـ مولر ، ومحل الطريقة القديمة القائمة على الرصد بالعين للايماضات الحاصلة بفعل اثر الجزئيات α فوق شاشة من سولفور التوتيا . وقد امكن انجاز مومضات عضوية (كالمان Kallmann 1947) ومومضات غير عضوية (احاديات البلور من Na I (Tl) ، هوفستادتر Hofstadter ,1948) ذات خصائص مفيدة جداً ؛ والطاقة الضائعة بالتشعيع في المومض تتحول جزئياً الى ومضات ثم الى نبضة كهربائية عند خروجها من مكثف الصور Photo multiplicateur ؛ ولاول مرة امكن التقاط اشعة γ طاقوية بفعالية تبلغ 100 % .

وفي السنوات الأخيرة ظهرت لاقطات ذات وصلة ، نصف موصلة من السيليسيوم ، وهي انواع من الغرف التأيينية في الحالة الصلبة .

وتقدم علم الالكترونيك النووي بخطوات العمالقة : وكان الغرض الافادة ما امكن ـ اي بخسارة اقل ما يمكن من الاعلام ـ من النبضات الكهربائية المتكونة عند الخروج من الاجهزة الالتقاطية لمختلف انواع التشعيعات . واتاحت تقنية التطابقات (بوث Bothe ، 1925 - 1929 ؛

روسي Rossi, 1930) اليوم قياس علاقات ارتباطات زاوية وتحديد حيواتٍ وسطية اقل من النانو ثانية (اي الجزء من مليار من الثانية المعادل 10^{-9} s) ؛ وهناك طرق بارعة بشكل خاص توصلت حتى الى خفض هذا الحد فبلغت 10^{-11} s من الثانية .

ودراسة البث الانتجاعي لاشعة γ (البث عن طريق نوى من نوع النوى المرسلة) ادت بشكل آخر الى تحديد بعض الحيوات القصيرة جداً بواسطة قياس عرض المستويات (ان عرض مستوىً من المستويات يتناسب عكسياً مع متوسط حياته) . وتمييز حالة متجازئة [ذات ذرات متماثلة النوع والعدد ولكنها مختلفة من حيث النسق والخصائص] ، يبدو هكذا اقل وضوحاً : فكل مستوى نووي له حياة متوسطة ، قد تكون قصيرة جداً أو طويلة جداً بحسب ما اذا كان الانتقال نحو مستوىً أدنى يتوافق مع تغيير صغير أو كبير في العزم الزاوي (الدوران اللولبي Spin) .

في سنة 1958 انجز موسبور Mossbauer في هيدلبرغ بث وامتصاص اشعة γ بدون تراجع ودون توسيع ذي قيمة للخيط الطبيعي : ويلحظ الاثر في درجة الحرارة المنخفضة ويتأتى عن حبس النواة المرسلة أو الماصة داخل شبكة بلورية . والعرض المتناهي الدقة (عرض بمقدار واحد من اصل 10^{-12}) لاشعة γ الحاصلة بهذا الشكل ، اتاح القيام بدراسات ذات فائدة كبيرة (راجع بهذا الموضوع دراسة مدام م ـ آ . تونيلات في الفقرة II من الفصل II من هذا القسم) .

النماذج النووية الاولى : النماذج الذرية « النقطة السائلة » ، ونموذج الجزئية α ـ في النماذج النووية الاولى ، تم السعي ، بدون تبرير ، لنقل النموذج الذي نجح بالنسبة الى الذرة ، حيث تتحرك الالكترونات بشكل مستقل تقريباً بعضها عن بعض ضمن القدرة الكهربائية الثابتة المركزية التي تولدها النواة (الكبيرة تجاه التفاعلات المتبادلة للالكترونات عندما ترتفع Z) . ولما كانت مثل هذه القدرة المسيطرة غير موجودة داخل النواة ، فقد استبدلت بقدرة متوسطة ، تتحدد مبدئياً بشكل يقلص الطاقات المحسوبة مع الاخذ في الاعتبار التفاعلات المتبقية من النكليونات اثنين اثنين ، وفقاً للطريقة التحويلية التي قال بها ريتز Ritz : ان طريقة هارتري ـ فوك Hartree - Fock هي التي استعملت لمعالجة مسألة الذرة بدقة اكبر .

وبصيغة مبسطة تم اهمال التفاعلات التخلفية واخذ كقوة مركزية وسطى « ثقب من القوة » ذو جوانب وعرة ، وذو شعاع يعادل الشعاع النووي التجريبي ، عمقه مضبط لكي يعثر على طاقة الاتصال الملائمة بكل نكليون (8 الى 10 MeV بالنسبة الى النوى المتوسطة) . وهكذا توفر « نموذج ذي طبقات » . وكما هو الحال في الذرة ، نملأ بالنترونات والبروتونات المستويات الفردية المتتالية الحاصلة على هذا الشكل ، وذلك بالتوافق مع مبدأ الاستثناء الذي قال به بولي Pauli : جزئية واحدة من كل نوع في كل حالة (مع الاخذ في الاعتبار حالة الدوران اللولبي) . وهذا ناتج عن ان النترونات والبروتونات هي اجزاء فرميون [نسبة الى فرمي] من الدورة النصف 1/2 مثل الالكترونات .

وهناك عبارة اكثر تبسيطاً هي عبارة « غاز فرمي » :

نفترض حواجز أو جوانب البئر ذات ارتفاع غير متناهٍ ، اي ان النكليونات تفترض طليقة داخل علبة تستعصي على الاجتياز . في الحالة الاساس من النواة ، تملأ كل حالة فردية بنترونين حالات دورانهما مختلفة ($m_s = +1/2$ و $-1/2$) وبروتونين تكون اسقاطات دورانهما على محور التكميم متعارضة حتى الحصول على الاعداد المفترضة من النترونات N والبروتونات Z (ونفترض من اجل التبسيط : $N = Z = A/2$) . وتكون النكليونات الاخيرة فوق « سطح بحر فرمي » . وفي حالات اثارة النواة ، تمر بعض النكليونات فوق حالات فردية اكثر ارتفاعاً ، فوق هذا السطح .

وقد استعمل هذا النموذج بشكل خاص منذ 1932 لحساب كثافة مستويات الطاقة العليا ، في حسابات التفاعلات النووية .

في سنة 1934 لاحظ الساسر Elsasser الاستقرارية الاستثنائية في النوى ذات 82 نترون أو ذات 126 بروتون وحاول ان يفسر هذه الاعداد « السحرية » ، معتبراً انها تتطابق مع الامتلاء الكامل لبعض طبقات النواة بالنترونات والبروتونات . الا انه مع ذلك لم يستطع ان يعطي نموذجاً من الطبقات يتيح العثور على هذه الاعداد ثانية .

ومن جهة اخرى ، تكاثرت الاعتراضات ضد هذه النماذج ذات الجزئيات المستقلة (أو في حالات فردية) . واهم اعتراض جاء من دراسة التفاعلات النووية عن طريق النوترونات « الحرارية » التي تتوافق طاقتها الحركية مع التوازن الحراري للوسط المجاور .

ان المقطع الفعال الأسر لهذه النترونات يقدم إرجاعات ضيقة جداً (بعضاً من eV) تتطلب مدة حياة نسبياً كبيرة للنواة « المركّبة » المؤلفة من النواة الأساسية ومن النترون (من عيار مليون مرة مدة اجتياز النواة من قبل النترون) . ولكن هذا النترون ذا الطاقة البالغة 8Me V تقريباً فوق سطح بحر فرمي ، رغم ان طاقته الحركية غير ذات قيمة ، هو غيرُ مرتبط بالنواة . ان مدة أسره من قبل بئر من القوة ضمن هذه الشروط ، سوف تكون من مستوى مدة اجتياز النواة .

هذا التعارض هو في اصل نظرية النواة المركبة التي قال بها ن . بوهر N. Bohr الذي يفترض وجود مسارٍ حرٍ وسطي لنكليون ما في النواة ، صغيرٍ امام الشعاع النووي : ان طاقة النترون تتوزع بسرعة عن طريق الاصطدامات المتتالية بين كل النكليونات الموجودة في النواة المركبة . وبدت هذه الفرضية متناقضة باطلاق مع اي نموذج ذري .

يفترض هذا النموذج مساراً حراً للنكليونات كبيراً امام الشعاع الذري ، اي سلوكا للمادة النووية شبيهاً بمسار غازٍ ما . ان نظرية بوهر الجديدة تقتضي ، بالعكس ، حالة مماثلة لحالة سائلٍ ما ، مما يبدو مُثْبَتاً بالقيمة العالية للقوى النووية ذات المدى القصير الملحوظة الوجود في الصدمات بين النكليونات الحرة (بووتون ـ بروتون ونيترون ـ بروتون) .

وحمل نموذج القطرة السائلة الذي تداخله ن . بوهر سنة 1939 ، ويزساكر الى وضع صيغته نصف الاختبارية ، تعبيراً عن الكتل الصحيحة للنوى . كما اتاح ايضاً التنبّؤ بحالات مستثارة للنوى تتوافق مع حالات توقفية مكمّمة تتخذها حركة النقطة السائلة .

كانت تكتب في بادىء الامر معادلات الهيدروديناميك الكلاسيكي من أجل الحركات

الصغيرة غير الدائرية بالنسبة الى سائل غير قابل للضغط . وتنتج الطاقة الكامنة عن الضغط السطحي الذي تحدثه النقطة وهي تقاوم تشويهها . وكان للطاقة الحركية تعبير عام معقد ، ولكن هذا التعبير يمكن ان يبسط ، في حال افتراض وجود تشوهات تابعة من الدرجة الاولى في المحاور العامودية الاساسية (يكون السطح النووي عندها بشكل مجسم اهليلجي مرتجف ودائر) ، ثم تابعة من الدرجة الثانية ، الخ . وعند التكميم بواسطة الاساليب المعتادة ، يتم الحصول على مستويات متساوية البعد ، بالنسبة الى كل نوع من التشويه ، مطابقة لتثوير كمية ما ، أو لتثوير فوتونٍ أو فونونين ، الخ . من كل نمط . وكانت حالات التكافوء ، وينوع من الغموض ، العزوم الزواية في هذه المستويات ، متوقّعة ايضاً (ويزساكر ، فلوغج Flugge ، الخ) .

ولكن المعلومات ، في هذه الحقبة ، (1935 - 1937) ، كانت قليلة حول المستويات النووية ، فلم تمكّن من مواجهة هذه التنبؤات بالتجربة .

ومن جهة اخرى ، ادى وجود النشاط الاشعاعي α ببعض الباحثين الى افتراض وجود جزئيات α « سابقة التشكل » في النوى . وسرعان ما تبين ، في النوى الوسطى ، ان طاقة الاتصال عن طريق النكليون (8 الى Me V 10) ، كانت اعلى مما هي عليه في الجزئية α (7Me V) . هكذا لا يمكن لجزئية α أن تكون مستقرّة في نواة وسطى . ولكن يمكنها أن تكون كذلك في نواة ثقيلة حيث تتقلّص هذه الطاقة فتنخفض إلى 5MeV وسطياً (النوى المشعة) أو في نواة خفيفة ، حيث طاقة الاتصال هي من ذات المستوى . ويمكن اعتبار بعض النوى الخفيفة كتجمع للجزئيات α: $^{8}_{4}Be$ (2α ، غير مستقرّة) ؛ $^{12}_{6}C$ ، (ثلاث جزئيات α) ؛ $^{16}_{8}O$ (4 α) وكذلك $^{20}_{10}Ne$ (5 α) . وصمم ويلر Wheeler (1937) نموذجاً مماثلاً لنموذج الذرات في جزيء ، المصفوفة بانتظام على اتصال بعضها ببعض .

تستطيع هذه المجموعات ان تدور ، مما ينبىء بمستويات دوران بالنسبة الى هذه النوى ، كما بالنسبة الى الجزيئات . وفي حالة التحفيز الأعلى ، تستطيع الجزئيات α ان تتذبذب حول موقعها التوازني : مستويات الذبذبة . وتتوافق التوقعات النظرية بالنسبة الى العزوم الزاوية ، مع حالات التكافؤ ، كما بالنسبة الى مواقع المستويات (بعد تصحيح الثوابت المعيارية) ، توافقاً جيداً نوعاً ما مع المعطيات الاختبارية . ان مجال تطبيق هذا النموذج ضيق للغاية . الا ان هافستاد Hafstad وتلر Teller (1938) وسّعاه فاشملاه نوىً خفيفة مثل $^{7}_{4}Be$ ، $^{7}_{3}Li$ ، $^{9}_{4}Be$ اعتبرت كمجموعات جزئيات α والى حدٍ ما نكليون .

الاعداد « السحرية » ونموذج الطبقات ذو التفاعل بين التدويم والمدار - وعلى كلٍ ، الكثير من معطيات التجربة تدل على وجود عدد « سحري » ، والنوى المحتوية على هذه النترونات (N) والبروتونات (Z) ، وهي اما اكثر استقراراً أو اكثر عدداً من النوى ذات اعداد مجاورة لـ Z, N .

فقد بيّن درس طاقات اشعة α المنبثقة عن الاجسام المشعة الطبيعية القريبة من : $^{208}_{82}Pb_{126}$ (A = 208 ; Z = 82 ; N = 126) منذ 1934 ان البروتون الثاني والثمانين يتمتع بطاقة اتصال اكبر من طاقة الثمانين والواحد والثمانين والثالث والثمانين والرابع والثمانين مثلاً . وكذلك بالنسبة الى النترون

السادس والعشرين بعد المئة بالنسبة إلى الـ 124 والـ 128 (وهذا إذاً بالاستقلال عن واقع ان المجموعات ذات العدد المفرد من النكليونات هي اقل ارتباطاً من المجموعات ذات العدد المزدوج) .

ومن جهة اخرى ان النظائر (أو التواترات) تكثر بشكل خاص وغزير بالنسبة الى Z (أو = N) = 20 (كذلك $^{40}_{20}Ca_{20}$) و 50 (وهي من نظائر القصدير) . وهذا يصح ايضاً على الغزارات المطلقة كما على الغزارات النسبية ؛ واذا كانت درجة حرارة تكون العناصر تتوافق مع طاقة ضعيفة امام Me V واحد ، وهذا امر دائم الوجود بالنسبة الى النجوم ، فان هذا الحدث يفسره الاستقرار المتزايد في هذه النوى .

الا ان محاولة التفسير التي قام بها الساسر بواسطة النموذج ذي الطبقات قد فشلت : وحدها الفرضيات غير الواقعية حول الطاقة الكامنة الوسطى كان يمكن ان تمكّن من تفسير الاعداد السحرية 50, 82, 126 . في هذا النموذج تمتلىء المستويات الفردية للنكليونات ، من الطاقة الكامنة الوسطى ، تباعاً ، ابتداءً من مستوى الطاقة الادنى ، تمشياً مع المبدأ الاستثنائي الذي وضعه بولي . والتدافع الكولومبي (نسبة إلى Coulomb) بين البروتونات يفسر كيفية امتلاء هذه المستويات بالنترونات بسرعة اكبر .

وان اهملنا الدوران ، فان مستويات الجزئية هذه داخل طاقة كامنة مركزية تتميز بالاعداد الكمية التالية : n هو عدد كمي شعاعي (الخ ,$n = 1, 2$) ; ℓ ، العدد الكمي للعزم المداري (= ℓ 0 1, 2) ؛ m_ℓ عدد كمي مغناطيسي ذو عزم مداري (يمكن في حال ثبوت ℓ ان يأخذ القيم $2\ell + 1$ المنطلقة من ℓ - الى ℓ + عبر قفزات صحيحة : $-\ell, -\ell+1, \ldots, \ell-1, \ell$) .

ويطبق مبدأ الاستثناء على هذه الحالات ، مع الاخذ في الاعتبار ايضاً حالتي الدوران الممكنتين ، المتميزتين بالعدد الكمي المغناطيسي للدوران : $m_s = \pm 1/2$: ويمكن وضع نكليون واحد من نوعٍ ما (نترون أو بروتون) في حالة تتميز بمجمل الاعداد (n, ℓ, m_ℓ, m_s) .

[باعتبار $m\ell$ ، بالوحدة $\hbar$ ، اسقاط العزم الحركي المداري على محور التكميم Oz ، وباعتبار ℓ تعادل طول هذا « السهم » . m_s هي اسقاط العزم الحركي الخاص أو الدوران الذي يعادل طوله $s = 1/2$] .

وكل الحالات $(n\ell)$ تتطابق مع نفس الطاقة : فيقال هناك تقهقر فوق m و m_s .

وعلى كلٍ اذا كانت القوة الوسطى تشتمل على حد التفاعل دوران ـ مدار بين العزم المداري وبين دوران الجزئية ، فان $m\ell$ و m_s لا يمكن ان يعتبرا مستقلين : فالعزمان الحركيان يتألفان وفقاً للعزم الزاوي الشامل $j = \ell \pm 1/2$ ($\ell + 1/2$ فقط اذا كان $\ell = 0$) . انها الحالات $(n\,\ell\,j)$ التي تتوافق الآن مع نفس الطاقة : يوجد فقط تقهقر فوق m التي يمكن ان تأخذ القيم الـ $2j+1$: $-j, -j+1, \ldots, j-1, j$ والتي تتوافق مع اسقاط العزم الزاوي الشامل .

وهكذا ينفصل كل مستوى طاقوي ($n\ell$) سابق عموماً الى مستويين متمايزين ($n \ell j$) .

$$(nl) \begin{cases} (n,\ l,\ j = l - 1/2) \\ (n,\ l,\ j = l + 1/2) \end{cases}$$

وهكذا يرتفع جزئياً التقهقر السابق . ونجد عند ملء المستويات ($n \ell j$) عندما يطبق مبدأ الحصر على ($n \ell j m$) ، نجد الاعداد « السحرية » 2, 8, 20, 50, 82, 126 شرط ان نفترض ان ($n, \ell, j = \ell + 1/2$) توجد تحت ($n, \ell, j = \ell - 1/2$) وهو ترتيب معاكس للترتيب المتوفر بالنسبة الى المستويات الالكترونية العميقة في الذرة .

ونجاح النموذج لا يقف هنا ؛ فهو يتيح العثور على العزم الزاوي الشامل وعلى تكافؤ(1) الحالة الأساسية للنوى المفردة وفي أغلب الأحيان على تكافؤ حالاتها الأولى المثارة. وعندها يمكن تزاوج البروتونات ، مثل النترونات ، زوجين زوجين ، حينما يكون العزم الزاوي لكل منها اي لكل حالة من حالات التكافؤ ، عدماً . وعندها يصبح العزم الزاوي J في النواة هو العزم j ، في النكليون المفرد الذي يوجد فوق المستوى الفردي ($n \ell j$) ، الاعلى : انه نكليون اعزب فرد . وكذلك تكافؤ النواة يتوافق مع هذا المستوى (+ اذا كان ℓ مزدوجاً ثم ـ اذا كان ℓ مفرداً) . وبالنسبة الى الحالات المثارة نفترض انها تطابق :

ـ اما مع مرور هذا النكليون الاعزب فوق مستوى فردي اكثر علواً ؛ ـ وإما مع مرور نكليون اعمق عند($n'l'j'$) ، فوق المستوى (nlj) .

ان هذا النكليون يشكل مزدوجاً ذا عزم معدوم ، مع العزم السابق ، ويظهر الفراغ فوق($n'l'j'$) عزماً زاوياً | $J' = j'$ بالنسبة الى الحالة المثارة ، كما يظهر تكافؤاً متوافقاً مع l' . ان هذا النموذج وهذه القواعد قد اقترحتها ماريا غوبرت ـ ماير (من شيكاغو) ، من جهة ، واقترحها هاكسل وجنسن وسويس من هيدلبرغ من جهة أخرى سنة 1950 .

وبالنسبة الى الحالات الاساسية ، لا نعثر الى على استثناءين تكون فيهما $J = j - \ell$. وبالمقابل فان عدداً كبيراً من الحالات الاولى المثارة لا يمكن ان يُفسر هكذا . وعندها يجب ان نحسب حساباً للتدخلات الترسبية بين النكليونات التي تؤدي في الواقع الى حالات اكثر تعقيداً من الحالات المتوقعة في نموذج النكليون الاعزب . وتزاوجات العزوم الزاوية j الفردية قد تكون اكثر تعقيداً من حالات توقعها هذا النموذج .

ومن جهة اخرى تمحو التفاعلات المتداخلة البنية الموجودة بشكل طبقات فتولد « خلائط

---

(1) يرمز الى التكافؤ بالإشارة + أو − التي تدلّ على أنّ دالّة الموجة هي مضروبة بـ 1+ أو 1− عند إجراء تناظر متعلّق بأصل الاحداثيات ، لنظام لا متغيّر بفعل هذا التناظر

هيئات » : إن حالة نووية ما يجب ان تصور عندئذٍ بمجموع متوازن من دالات الموجات المتوافقة مع امتلاءات مختلفة للمستويات الفردية .

هذه الاعتبارات وهذه الحسابات هي أيضاً ضرورية من أجل التكهّن بحالات النوى N و Z المفردة . ولكن الحسابات لا يمكن ان تجرى الا بالنسبة الى النوى الخفيفة .

النموذج « الموحد » الذي وضعه بوهر ـ موتلسون Bohr - Mottelson ـ كل هذه التلطيفات للنموذج ذي الطبقات لم تستطع ان تفسر الشكل الاهليلجي الذي يتخذه توزيع الشحنة ذات النوى التي يبعد فيها N و Z عن الاعداد السحرية . ولكي يُفسِّر آ . بوهر وب . ر . موتلسون هذا الشكل الذي يعبر عن نفسه بعزوم مربعة الاستقطاب المرتفع عادا جزئياً في سنة 1952 الى نموذج النقطة السائلة .

إعتبرا وتفحصا نكليونات خارجية فوق مستويات فردية من قوة كامنة غير كروية ، ونظرا الى « قلب » ذي حركات تصورها متغيرات جماعية كحركات نقطةٍ سائلة . وتتبع القوة الكامنة الوسطى تشوهات القلب ، وتأخذ ، فضلاً عن ذلك ، حركة هذا القلب فتزاوجها مع حركة النكليونات الخارجية . فإذا كان هذا التزاوج خفيفاً ضعيفاً ، تتم العودة إلى المستويات الجماعية في نموذج النقطة ذات الفونون الواحد أو الفونونين . . . الخ : وهي مستويات ذبذبة نواة كروية تتماثل في كثيرٍ من النوى زوجين ـ زوجين .

واذا كان التزاوج قوياً يتم العثور على قوة كامنة اهليلجية تدور ببطء ، وذلك بواسطة تشويهات في النظام الاول . ويحصل لدينا « مستويات جماعية دورانية » محددة تماماً بالنسبة الى الكثير من النوى البعيدة عن الاعداد السحرية ، كما يتحصل لدينا مستويات فردية داخل قوة اهليلجية كامنة . ويكون الدوران في الواقع شبه دوران ، اي نوعاً من حركة المد والجزر يدور خلالها السطح الاهليلجي ، ويتعلّق فيها العزم الجمودي المطابق ، بالتشويه (ويلتغي معه) وهذا التشويه ينتج بذاته عن قوة التزاوج بين القلب ذي النكليونات الخارجية ، وبين ثابتة « التشويه » فيه ، ويجب ان نفترض ان القلب غير قابل للتشويه عندما يتكون من طبقات مشبعة (الاعداد السحرية) .

وتلقى نموذج بوهر ـ موتلسون تأكيداً قوياً تجريبياً في المجالات ذات التزواج الضعيف (مستويات الذبذبة فيها N و Z مزدوجة) وذلك عندما يكون $66 \leqslant A \leqslant 144$ ، وفي المجالات ذات التزاوج القوي (وفيها مستويات الدوران) عندما يكون $140 < A < 185$ (التربات النادرة) ، وفي حالات $A>225$ (عبر الاورانيوم) . وفي المستويات الدائرية تدل التجربة على قيم عزم جمود أكبر بكثير مما تدل عليه النظرية (وغالباً ما تكون هذه القيم من مستوى القيم الناتجة عن دوران النواة الصلبة) .

وهكذا تارجحت النماذج في اغلب الاحيان بين نماذجٍ ذات جزئيات مستقلة ، فيها تفترض التفاعلات بين النكليونات في النواة ضعيفة افتراضاً (طبقات) ، وبين نماذج ذات تفاعل قوي

(نقطة السائل) . وهذا يصح ايضاً بالنسبة الى التفاعلات النووية التي تقتضي طاقات تثورية اعلى : من ذلك ان نموذج النواة المركبة ذات التفاعلات القوية تبع نمودج بئر القوة الكامنة . وفي الاخير قدمت نماذج مختلطة تركيبية لم تكن متماسكة بشكل كامل : نموذج بوهر ـ موتلسون للمستويات الاولى ، ونموذج بصري للتفاعلات النووية .

وبشكل عام يبدو مع ذلك ان الحقيقة هي اقرب الى النموذج ذي الجزئيات المستقلة : والنماذج الاقرب الى النموذج ذي الطبقات تعطي قيماً افضل من عزوم الجمود النووي . وعندها يكون من الضروري تفسير السبب في تهافت الاعتراضات الاساسية ضد هذا النموذج : فالتفاعلات بين النكليونات في النواة تبدو اضعف مما هي عليه بين النكليونات الحرة . ونظرية بروكنر Brueckner ومعاونيه (1955 - 1958) قد وضعت لتفسير خصائص « المادة النووية » إنطلاقاً من الخصائص الاساسية المعروفة عن التفاعلات بين النكليونات الحرة . وأخذت نظرية أخرى اخذاً شبه كامل حوالي سنة 1958 - 1959 عن نظرية الموصلات المتفوقة : فهي تعطي دوراً مهماً لازواج النكليونات ذات العزم الزاوي المعدوم . ويقتضي الامر بشكل خاص تبرير نماذج فرضت نفسها بشكل تجريبي اختياري .

الواقع ان نموذج « الترابط الازدواجي » الذي يستخدم التقنية الرياضية المأخوذة عن النظرية الكمية للحقول والتقنية المتعلقة « بتحول بوغو ليوبوف Bogolioubov » ، هذا النموذج أتاح التوصل الى حسابات تطبيقية لمستويات النوى المتوسطة والثقيلة ـ حسابات لا يمكن الوصول اليها عن طريق تقنيات التشويش . وهذا النموذج أنجزته بشكل خاص مجموعة آ . بوهر وموتلسون في كوبنهاغن .

IV ـ التفاعلات النووية

المسرعات الاولى للجزئيات ـ ان اكتشاف التحولات الاولى سنة 1919 ، واكتشاف النترون سنة 1930 ، واكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي سنة 1934 قد تمت كلها باستعمال القذائف من مصادر طبيعية تعطي الجزئيات α .

ومنذ الأعمال الأولى الاختبارية والنظرية حول التحولات ، بدا التسريع الاصطناعي مفيداً بواسطة الضغوطات العالية للجزئيات المشحونة . أولاً ـ كان من الممكن هكذا استعمال قذائف غير الجزئياتα ، وخاصة البروتونات التي هي جزئيات أكثر بساطة ؛ ثانياً ـ يجب ان تكون تزخيمات الجزئيات الحاصلة(1) على هذا الشكل أكبر بكثير من التزخيمات التي تعطيها المصادر

---

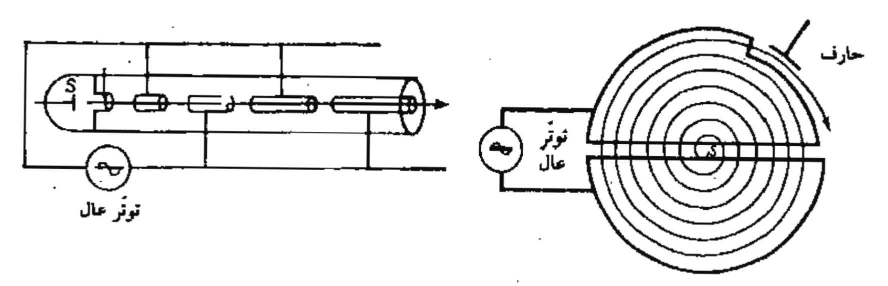
(1) تقاس هذه التزخيمات عادة بالميكرو أمبر $1\mu A = 6.10^{12}$ من الشحنات الأولية في الثانية . وهكذا تتوافق $0,012\mu A$ من الجزئيات α مع عدد الأشعة α التي يبثها مولّد من عيار 1 كوري (1غ) من الراديوم ؛ في هذه الحالة الأخيرة تكون الجزئيات مبثوثة في كلّ الاتجاهات ممّا يعطل مفعولها كما لو كانت بشكل ضمّة مسرّع .

الطبيعية الأكثر قوة في ذلك الوقت ، ثالثاً ـ كان يُظنّ يومئذٍ انه بالامكان التوصل ، بواسطة تحسين الآلات ، إلى طاقات أعلى من طاقات أشعة α الطبيعية .

وبخلال عدة سنوات أمكن تجاوز هذه الأهداف تجاوزاً فاق كل تصور . وبذلت جهود في عدة مختبرات بآنٍ واحد . ففي سنة 1932 استطاع ج . د . كوكروفت وآ . ت . س . والتون في بريطانيا ان يحدثا لأول مرة تنقلات بواسطة بروتونات مُسرعة حتى حدود 700 الف الكترون فولت .

ودرسا بشكل خاص التفاعل النووي التالي : $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$ ؛ وكانت الجزئيتان α قد قذفتا باتجاهين متعارضين والتقطتا فوق شاشات من سلفور التوتيا ، بفضل راصدين بريان توافقهما في الزمن لأول مرة . ويتضمن المولد كوكروفت ـ والتون سلسلة متتالية من المثقلات المكثفة كما يتضمن أنابيب تقويم ، مما يتصيح مضاعفة التوتر عند خروجه من المحول .

وفي سنة 1928 - 1930 حصل لوريتسن Lauritsen في الولايات المتحدة على توتر عال جداً بفضل محولات رُكبت بشكل تدرجي . وفي سنة 1931 - 1932 حقق ڤان دي غراف مُسَرِّعاً ذا كهرباء ثابتة يتيح حث كرةٍ معدنيةٍ فارغةٍ بواسطة حزام جلدي متحرك . وهذا النمط من المولد ما يزال مستعملاً كثيراً .



صورة 13 ـ سيكلوترون (جهاز لتحطيم الذرات) . تتبع الجزئيات المسرَّعة بين القطبين الاجوفين مساراً حلزونياً ويمكن استخراجها بواسطة قطب أجوف هو الحارف . و S هو مصدر الأيونات .

صورة 14 ـ مسرِّع خطي . ان التوتر العالي مطبق بين الاسطوانات المتتالية . وطول هذه الاسطوانات يزداد كما سرعات الجزئيات .

ولكن ثورة حقة في هذا المجال سوف تقدمها الآلات ذات التسريع الدوري يطبق فيها التوتر العالي عدداً كبيراً من المرات المتتالية من أجل تسريع حزمة من الجزئيات بفعل دفعات متتالية من الطاقة . وعلى هذا المبدأ بنى ، في سنة 1932 ، كل من أو . لورنس وم . س . ليفينغستون Livingston في جامعة كاليفورنيا أول سيكلوترون أعطى بروتونات من عيار 1,2 مليون الكترون فولت .

وترسم الجزئيات في حقل مغناطيسي مساراً لولبياً انطلاقاً من المركز : فالتوتر المسرِّع يطبق

بين قطبين فارغين (صورة 13) ، وتأخذ الجزئية نفس الوقت لتدور دورة كاملة في الآلـة مهما كـاز شعاع مسارها .

وأصبح السيكلوترون بعد ذلك أحد الأجهزة الأكثر شيوعاً في الفيزياء النووية . وأدخلت عليه تعديلات متنوعة ومهمة ، وهو اليوم موجود في عدد كبير من المختبرات .

وفي ذات الحقبة تقريباً (1929 - 1934) يقع أيضاً تطوير أوائل المسـرعات الخـطية ، من قبـل ويدرو Wideröe ، ود . هـ . سلوان Sloane وآخرين . وآلة ويدرو كانت الأولى التي استعمل فيها التسريع المضعَّف بنفس التـوتر الـدوري . ويطبق هـذا التوتر العالي بين سلسلة من الاسـطوانات توضع مصفوفة بخط مستقيم لتجتازها الجزئيات (صورة 14) . ولم تكن المسرُعات الاولى الخطية لتنقل الى الايونات الثقيلة (K^+, Li^+, Hg^{++}) الأ/طاقات ضعيفة نسبياً ، ولم تطبق في بـادىء الأمر الا تطبيقاً محدوداً .

وأدى اكتشاف الدوتيريوم (وهو نظيـر هيدروجيني ثقيـل) ـ نواتـه هي الدوتـون ، وتتألف من بروتون ومن نترون ـ من قبل هـ . اوري H. Urey ومعاونية سنة 1932 ، وبسرعة بالغـة الى استعماله كقذيفة في المسرُعات .

ويبدأ الدوتون جزئيـة فعالـة جداً للتسبب بـالتحولات نتيجـة ضعف طاقتـه الاتصاليـة . وبعد اكتشاف النترون وبعد أعمال فرمي بذلت جهـود لانجاز مصـادر نترونات وحيدة الحـركة مصـطنعة باستخدام تفاعلات متنوعة نووية .

واستخدم بالتالي التفاعل ($d + d \rightarrow n + {}^{3}_{2}He$) ، وبعد الحرب، بعد اختراع أهداف التريتيوم استخـدم التفاعل ($Id + {}^{3}_{1}H \rightarrow n + {}^{4}_{2}He$) .

وتوجّه الاهتمام أيضاً الى تسريع الالكترونات حتى يمكن ، بشكل خاص ، استحـداث كبح ضمن هدف ذي زخومات قوية من أشعة γ ، ودرس تأثيرات هذه الأشعة على النوى .

وهكـذا ابتداء من 1930 - 1932 وضعت الـوسـائـل الضـروريـة لـدراسـة مفصلة للتفـاعـلات النووية . وقد تحسنت هذه الوسائل بعد ذلك بدون توقف .

المظاهر العامة للتفاعلات النووية ـ يشكل النشاط الاشعـاعي والتفاعـلات النوويـة النمطين الرئيسيين للعمليات التي تتيح استكشاف بنية النواة ، واستخراج مختلف مميزاتها ومعرفـة حركـاتها الداخلية ثمّ الترقي إلى طبيعة القوى النووية . إنّ التفاعـلات النووية تتيح من حيث المبـدأ تحليلاً أكثر عمقاً ، اذ بعكس مـا هو حـال النشاط الاشعـاعي ، من الممكن ، بالنسبـة إلى المجرب ، ان ينوع بعض المعايير .

ان فعالية مطلق تفاعل أو انتشار ، أو بصورة ادق احتماليته ، تؤخذ من مقـطعه الفعـال . هذا المفهوم استخرج من النظرية الحركية للغازات ويعرّف المقطع الفعّال أو المفصل بالسنتيمتر المربع مثل الاحتمالية التي يقوم عليها وقوع هذه التفاعلية عندما تقع ضُمةٌ مكونـة من قذيفـة واحدة ، على هدفٍ يحتوي على نواة واحدة في السنتيمتر المربع . هذا المقطع الفعال يعبر عنه عمـوماً بـوحدات

من عيار جزء من أصل 10^{-24} من السنتيمتر المربع تسمى بارنس Barns . ويمكن تصور هذا المقطع الفعال كصحن صغير مرتبط بالنواة الهدف عندما تكون الجزئية النازلة دقيقة أو نقطية .

ان العلاقة التكافئية بين الكتلة في حالة السكون وبين الطاقة $E = mc^2$ (انشتين) ثم تحديد كتل النوى بواسطة مطيافية الكتلة يمكنان من تنبؤ بمقدار الطاقة في التفاعل .

فالتفاعل يمكن ان يكتب على الشكل التالي : $a + X \rightarrow Y + b + Q$ ، باعتبار ان a هي القذيفة و X هي النواة الهدف و Y هي النواة الناتجة و b هي جزئية ثانوية صادرة من خلال التفاعل . اما Q فتمثل فائض الطاقة . وإذا كانت Q ايجابية فان ذلك يعني الطاقة المحرّرة بفضل التفاعل ؛ وإذا كانت Q سلبية فيتوجب ان تأتي الجزئية «a» بطاقة دنيا حتى يتم التفاعل (مما يعني وجود عتبة يقف عندها التفاعل) .

ومعادلة انشتين $E = mc^2$ قد ثبتت اختبارياً من خلال قياس كميات الطاقة في التفاعلات النووية عندما تصل جزئية ـ قذيفة على هدف مشكل من نواة ، فهناك عدة ظاهرات يمكن ان تحدث ، ويزاحم بعضها بعضاً :

في بادىء الأمر مجرد الانتشار المطاطي ـ بالنسبة الى جزئية مشحونة ، يجب التمييز أيضاً بين الانتشار المطاطي الذي يسببه الحقل الكولومبي (الكهربائي) للنواة ، وهو الانتشار المسمى انتشار روذرفورد ، والانتشار المطاطي الذي يسببه تأثير القوة النووية وهو انتشارٌ سمي في بادىء الأمر الانتشار الشاذ ـ ؛ وبعدها هنالك الانتشار غير المطاطي وفيه تخسر الجزئية النازلة قسماً من طاقتها ، وكذلك مختلف أنواع التفاعلات النووية المقرونة ببث جزئية ثانوية أو عدة جزئيات . والدراسة المفصلة لانتشار ما أو لتفاعل خاص ، تقوم ، ليس فقط على قياس مقطعها الفعال بل تقوم أيضاً على قياس مقطعها الفعال التفاضلي (تبعاً لزاوية البث ، بالنسبة الى الاتجاه النازل ، والجزئية الثانوية أو الجزئية المبثوثة) .

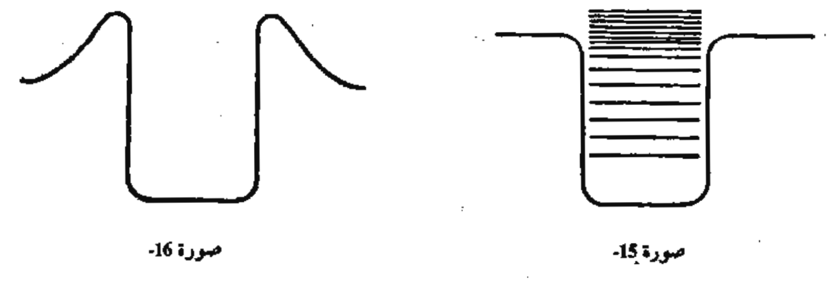
وقد تركز الاهتمام منذ البداية على إيجاد طرق عامة لتحليل نظري للانتشار وللتفاعلات النووية . في سنة 1926 كان ماكس بورن Max Born خلف نظرية الصدامات وقد أدخل تقريبية مفيدة للغاية سميت « تقريبية بورن » ؛ وتفكيك الموجات المسطحة الى موجات كروية بحسب مختلف العزوم يعود الفضل فيه الى فاكسن Faxen والى هولتسمارك Holtsmark سنة 1927 . وانطلاقاً من هذا التاريخ تطورت طريقة تغيير المراحل وتطور مفهوم مصفوفة التصادم الذي أدخله ويلر Wheeler سنة 1937 .

في هذا الوقت حصلت أولى الاختبارات حول التفاعلات النووية وقدمت معلومات كثيرة جديدة حول خصائصها .

مختلف انماط التفاعلات النووية ـ ان التفاعلات الأبسط تتوافق مع بث جزئية وحيدة ثانوية ؛ وكانت هذه التفاعلات في البداية الوحيدة التي يمكن درسها بسبب ضعف الطاقات المتاحة .

وقد اضطر المجربون والمنظرون في بادىء الامر الى التمييز بين القذائف الحيادية وهي النترون والقذائف المشحونة مثل البروتونات والدوتونات والجزئيات ∝ . ولم تلاق النترونات اية صعوبة للدخول الى النواة ، وهي ليست خاضعة الا للقوى النووية الجاذبة ؛ في حين يترتب على الجزئيات المشحونة ، لكي تدخل الى النواة ، ان تتغلب على حاجز من قوة كامنة قوامها القوى الكولومبية الدافعة .

ويكون هذا الحاجز مرتفعاً أكثر كلما كانت النواة أثقل ؛ والحاجز نفسه يظهر لمضايقة خروج الجزئية المشحونة من النواة . وهذه المسألة قد درست نظرياً بشكل خاص من قبل غامو . واذا كانت الجزئيات قوية بما فيه الكفاية فانها تقفز فوق الحاجز ؛ اما الجزئيات ذات الطاقة الضعيفة فامامها احتمال باجتياز الحاجز ، تبعاً لشفافيته .



صورة 15- بئر قوة كامنة بالنسبة الى النترون ومستويات طاقة النواة .

صورة 16- بئر وحاجز لقوة كامنة بالنسبة الى البروتون .

ان التفاعلات المحثوثة بواسطة النترونات قد درست بشكل خاص من قبل فرمي واعوانه الذين اكتشفوا الفعالية للنترونات البطيئة التي يتناسب مقطعها الفعال مع $1/v$ (وتعني v سرعة النترونات النازلة) . ويمكن للنترونات ذات الطاقة الضعيفة ان تؤسر من قبل النواة الهدف اثناء التفاعل (n, γ) ، وهذا الاسر مهم بشكل خاص بالنسبة الى بعض الطاقات المحددة بالذات الكامنة في النترون النازل : وعندها تحدث اصداء وارجاع (وقد رصدت الحالات الأولى في التفاعلات (α, p)) ؛ ويقدم النترون للنواة عدة كميات Me V من طاقة الاتصال ، والأصداء تتوافق مع مستويات مرتفعة نسبياً في النواة النهائية التي تَقْضَى بعدها ببث « غاما » (γ) .

هذه الأصداء قد درست تجريبياً من قبل مون Moon وتيلمان Tillman ومن قبل الفاريز Alvarez وكثير من الباحثين . وهناك تفاعلات مهمة بواسطة النترونات هي من النمط $(n,p)(n,\alpha)$- الضعيفة الطاقة على النوى الخفيفة فقط . ومن نمط $(n, 2n)$ اذا كان للنترون طاقة كافية .
ومع الجزئيات المشحونة نحصل على تفاعلات من النمط (α, n) (p, n) ؛ وهناك معها أيضاً أنماط من (p, α) و (α, p) ، ومنها تافهة ذات طاقة ضعيفة بالنسبة الى النوى الثقيلة .

وتعطي الدوتون تفاعلات مفيدة من النمط (d, p) و (d, n) . وشرح اوبنهيمر وفيليبس سنة 1935 التفاعل (d, p) بالشكل التالي : عندما يقترب الدوتون من النواة ، يطرد البروتون بالحقل الكولومبي ، والدوتون ـ ذو الطاقة الاتصالية الضعيفة جداً ـ يتفكك الى مكونات ؛ النترون وحده

يتسرب الى النواة ، والبروتون المنحرف يتابع طريقه . ان التفاعلات (d, n) هي موارد مهمة للنترونات .

وعندما تكون طاقة الجزئيات النازلة أكبر ، تصبح تفاعلات أخرى ممكنة طاقوياً مثل التفاعلات (p, d) أو مثل بث عدة جزئيات ثانوية . وعندها تتنافس عدة تفاعلات ، فمع طاقة معينة ، يوجد عموماً تفاعل غالب ؛ ومع طاقة أعلى ، يصبح تفاعل آخر بدوره غالباً . وينزع المقطع الفعال الشامل في التفاعل ، بشكل متواصل نحو قيمة قصوى هي المقطع الجيومتري (الهندسي) للنواة الهدف πR^2 . وقد ساعدت دراسة التفاعلات النووية أيضاً على تحديد شعاع النواة ، وتحديد بعض خصائص سطحها . ويمكن تمييز شعاع الشحنات الكهربائية في النواة ، والشعاع المطابق لفعل القوى النووية . ويفترض عموماً ما يلي : $R = rA^{1/3}$ (باعتبار A يمثل عدد النكليونات في النواة) ، و r تساوي : $(1,2 . 10^{-13})$ من السنتيمتر .

نماذج التفاعلات النووية ـ بخلال الـ 25 سنة الأخيرة ، تمّ وضع نماذج مختلفة للتعبير عن التفاعلات النووية . واستطاعت هذه النماذج تفسير قسم من الحقيقة المعقدة ؛ وهي على العموم صالحة في بعض المجالات الطاقوية أو بالنسبة الى بعض أنماط التفاعلات . ان العمليات الحقة تتوافق من غير شك ، مع مجمل المميزات التي توقعتها هذه النماذج . وحدها المعرفة الصحيحة بالقوى النووية وبخصائص المادة النووية هي التي تتيح ـ شرط القدرة على حل المسألة رياضياً ـ حساب مختلف التفاعلات النووية بشكل دقيق .

في سنة 1936 ، وضع نيلس بوهر وبريت Breit ويغنر Wegner ، وكذلك فرنكل Frenkel وفيما بعد ويسكوف Weisskopf نموذج النواة المركبة التي تساعد على تفسير عدد كبير من التفاعلات النووية .

تتكون النواة المركبة ، عندما تكون الجزئية النازلة في متناول القوى النووية . عندها يعتبر المقطع الفعال في تفاعل خاص $(a + X \rightarrow Y + b)$ وكأنه حصيلة ضرب المقطع الفعال في تكون النواة المركبة ، باحتمالية امكانية تفكك هذه النواة وفقاً للأسلوب (Y+b) . وهاتان المرحلتان مستقلتان احداهما عن الأخرى ، ذلك ان التفكك لا يتعلق بأسلوب التكوّن ؛ في هذا الوقت تخسر النواة المركبة « ذاكرتها » عن المرحلة السابقة .

تفسر هذه الفرضية بالشكل التالي : في الطاقات التي يطبق عليها النموذج ، يكون المسار الحر الوسطي للجزئية النازلة صغيراً تجاه ضخامة النواة ، وتتلقى الجزئية «a» صدمات كثيرة ، وتنقسم طاقتها بسرعة بين كل النكليونات الموجودة في النواة وتفقد ذاتيتها ؛ ويمر وقت من عيار 10^{-16} ثانية ، طويل نسبياً ، اذا قيس بفترات الحركات في قلب النواة ، وذلك قبل ان تتجمع طاقة كافية فوق جزئية «b» حتى تستطيع هذه الجزئية ان تخرج من النواة . مثاله في التفاعل $({}^{19}_{9}F + {}^{1}_{1}H)$ تتشكل نواة مركبة ${}^{20}_{10}Ne$ يمكن ان تتفكك فتبث نتروناً (وتبقى النواة المتبقية ${}^{19}_{10}N$) أو تبث جزئية α (ويبقى ${}^{16}_{8}O$) .

وكانت دراسة الارتجاعات (الاصداء) قد شكلت عنصراً مهماً في تطوير نظرية النواة المركبة . ويتوافق الرجع (الارتجاع ـ الصدى) مع مستوى طاقة حائز للنواة المركبة ؛ وقد تتفكك النواة عموماً وفقاً لعدة طرق ممكنة طاقوياً (طرق مفتوحة) ؛ وتتنافس هذه الطرق فيما بينها ، وكل منها مزود بنوع من الاحتمال . وهكذا أتاحت الصيغة بريت وويغنر تفسير الارتجاعات الضيقة

الملحوظة في التفاعلات (n, γ) ذات الطاقة الضعيفة . فاذا كانت الطاقة أقوى ، تكون مستويات النواة المركبة أكثر التصاقاً وتكثفاً ، ويركب بعضها بعضاً ، لان انفراجها يصبح أقل من عرضها . وعندها تختفي الارتجاعات ، الا انه من الممكن عندئذ استعمال مفهوم درجة الحرارة النووية التي تعبر عن طاقة الحث في النواة : تبخر النواة نكليونات كما تقوم قطرة من سائل مسخن بتبخير جزيئات ؛ واثناء عملية التبخر ، تنخفض درجة حرارة النواة .

عندما تكون الطاقات أعلى (وأحياناً بين الارتجاعات) يلتغي مفهوم المرحلة الوسيطة المركبة ، مع توزيع للطاقة النازلة ، بين كل النكليونات .

فإذا كان زمن اجتياز النواة ، من قبل النكليون النازل ، طويلاً نسبياً قياساً مع أزمنة إعادة الترتيب في النواة الهدف ، يمكن وصف عمل هذه النواة بقوة كامنة متوسطة ثم استخدام النموذج البصري الذي أدخله فشباخ (Feshbach) وبورتر Porter وويسكوف Weisskopf سنة 1954 . وبموجب هذا النموذج ، تكون النواة مماثلة لكرة ، من البلور الشفاف ؛ ويمكن تحريف الجزئية النازلة ، المماثلة لشعاع ضوئي ، بفعل كرة البلور أو يمكن امتصاصها . وهذا يعني ان كرة البلور لها مؤشر تحريف معقد . ويتوافق هذا المؤشر مع قوة نووية معقدة ينبيء قسمها الحقيقي عن التحريف ، اي عن الانتشار المطاطي ؛ وينبيء القسم الخيالي من القوة الكامنة عن الامتصاص ، أي عن مجمل التفاعلات النووية الممكنة .

وفي بعض انماط التفاعلات كما هو الحال في تفاعلات التعرية (d, p) و (d, n) والتفاعلات المعاكسة تفاعلات الالتقاط (p, d) و (n, d) ، يحدث التخالط بصورة أساسية بالجوار الملاصق لسطح النواة . وقد أوجد بوتلر (1951) وهو يعالج مسألة الارتجاف والأضطراب نظرية تفاعلات التعرية (في طاقة من عشرة Me V تقريباً مثلاً) ؛ في عملية التعرية ، واحد فقط من نكليونات الدوتون يلج في النواة مقدماً نوعاً من العزم المزاوي في حين يستمر النكليون الآخر في طريقة فيعطي توزيعاً زاوياً متميزاً .

ومعارضة لنموذج النواة المركبة تسمى النماذج الشبيهة بنموذج الكرة البلورية أو نموذج نظرية بوتلر ، نماذج التفاعل المباشر . والتفاعلات النووية ذات الطاقة العالية هي أيضاً تفاعلات تداخل مباشر في مراحلها الأولى .

في حال الطاقة العالية ، يصبح المسار الحر الوسط للنكليونات أكبر من شعاع النواة وتكون النواة شفافة جزئياً بالنسبة إلى هذه النكليونات . ويصبح المقطع الفعال الشامل للتفاعل أصغر من المقطع الهندسي للنواة ، ولكنه يتوقف عن التضاؤل أمام الطاقات الكبرى جداً نتيجة انتاج الميزونات [الميزون : دقيقة مكهربة ذات كتلة وسط بين الالكترون والبروتون] . وقد شرحت أوالية التفاعلات في حالات الطاقة المرتفعة ، من قبل سربر (Serber) بشكل خاص سنة 1947 .

في هذا المجال (حوالي 100 Me V وما فوق) تجتاز الجزئية النازلة النواة أو تتفاعل مع أحد نكليوناتها في زمن قصير جداً (من عيار (10^{-22}) من الثانية) ؛ وعندها تعتبر النواة كمجمل من النكليونات الحرة ، والتفاعل لا يتم الا بين اثنين أو ثلاثة نكليونات . وهكذا يتم التفاعل ذو الطاقة العالية بخلال مرحلتين : في الأولى تؤدي العملية التدخلية المباشرة الحاصلة بفضل صدمات متتالية متدرجة إلى قذف بعض النكليونات ؛ وفي نهاية هذه المرحلة الأولى ، قد تصل النواة الفضلة إلى حالةٍ من الإثارة كما لو كانت نواة مركبة ؛ واثناء المرحلة الثانية ، الأكثر طولاً (ما

يقارب من 10^{-18} من الثانية) ، تتفرغ هذه النواة المركبة فتبخر عدداً من النكليونات ، وإذن فالتفاعل قد يتم عبر عدد كبير من الطرق المتنوعة . ان مجمل هذه التفاعلات المختلفة المتنافسة فيما بينها ، والمتطابقة عموماً مع بث عدد كبير من النكليونات ، قد سميت التفاعلات النشطية .

بعض الأنماط الخاصة في التفاعلات النووية ـ في التفاعلات المؤدية الى الانشطار ، تقدم الجزئية النازلة الى النواة كفاية من الطاقة بحيث تصبح هذه النواة ـ على أثر حركات الذبذبة ـ في حالة تشويه (غير كروية) وغير مستقرة : فتنتصر القوى الكولومبية الدافعة بين البروتونات ، عندئذ ، على القوى النووية الجاذبة ، فتنشطر النواة إلى شطرين يتباعدان بسرعة هائلة عن بعضهما البعض . هذا التفسير وفقاً لنموذج نقطة السائل قدمه في سنة 1939 ن . بوهر Bohr وويلر Wheeler . ان هذه التفاعلات التي تحرر الكثير من الطاقة هي في أساس عمل المفاعلات والقنبلة الذرية .

وفي التفاعلات النووية الضوئية والنووية الكهربائية (التي تسببها أشعة غاما γ أو الالكترونات) ينطلق التفاعل من تداخل كهرمغناطيسي مع بروتونات النواة الهدف ، مما يؤدي الى بث نكليون أو أكثر . وقد شوهدت درجات عالية جداً . ومهمة جداً ، في تغير المقاطع الفعالة ، تبعاً للطاقة في حدود 20 Me V مهما كانت النواة الهدف ؛ وقد سميت هذه المراتب العالية « الارتجاعات العملاقة » .

في حالة الإثارة الكولمبية ـ التي توقعها وحسبها ويسكوف Weisskopf وتر ـ ماريتروسيان Ter Martirosyan ـ ورصدها لأول مرة هوز Huus وزوبنسيك Zupancic ـ يحفز نكليون مار خارج مدى القوى النووية بالقرب من نواةٍ ما ، هذه النواة بطريقة التداخل الكهرمغناطيسي . وعندها يكون تحفيز المستويات الجماعية ناشطاً وسهلاً .

وكذلك كرست جهود مهمة ، حديثاً ، للتفاعلات التي تثيرها الأيونات الثقيلة (مثل ايونات الكربون أو الأوكسجين المثقل عدة مرات) التي درست نظرياً من قبل بريت Breit وآخرين . في هذه التفاعلات ، قد تحدث تنقلات نكليونات بين النواة القذيفة والنواة الهدف ؛ وقد تشكل أيضاً نوى مركبة مشحونة بقوة بعزوم زاوية مرتفعة . وهناك عمليات أخرى ممكنة مثل تشكل حالات « شبه جزيئية » $(^{12}C + {}^{12}C)$.

وقد درست التفاعلات النووية ، حول النوى الخفيفة جداً (من نمط : $p + d, d + d, p + t$) بشكل خاص . من جهة ، أن هذه التفاعلات لا تستخدم الا عدداً قليلاً من النكليونات ، وإذاً فهي أسهل تفسيراً ؛ فهي تستطيع ان تعطي معلومات عن وجود محتمل لقوى ذات ثلاثة أجسام . ومن جهة أخرى ان هذه التفاعلات هي في معظمها تفاعلات حرارية نووية تذويبية تطلق طاقة كبيرة : وهذه التفاعلات تبدو وكأنها تلعب دوراً كبيراً في الشمس وفي النجوم وهي ذات أهمية عملية بالغة في منظور اطلاق الطاقة الحرارية النووية .

وقد اكتسبت التجارب حول مختلف التفاعلات النووية كثيراً من الوضوح في السنوات الأخيرة . وانطلاقاً من المقاطع الفعالة الحاصلة بمختلف الوسائل الاشعاعية الكيميائية ، تم التوصل إلى دراسة التوزيعات الزاوية (المقطاع الفعالة التفاضلية) بواسطة الكاشفات المتنوعة وخاصة بواسطة التلسكوبات ، والمومضات والمحلّلات المغناطيسية . وقد أتاح تحديد استقطاب الجزئيات المبثوثة ، أي التوجه الأوسط لدورانها (أو العزم الزاوي الداخلي) تحليل بعض التفاعلات بتفصيل أكبر .

تطور المسرعات الكبيرة ـ ان تزايد حجم المفاعلات وهي السيكلوترونات الكلاسيكية ، حدَّ منه تزايد الكتلة بتزايد سرعة الجزئيات المسرعة ، وفقاً لمبادىء النظرية النسبية . وكان الحدُّ بالنسبة الى البروتونات ، في حدود (15 Me V) ؛ وكذلك توجب العثور على مبدأ جديد للصعود إلى طاقات أعلى . في سنة 1945 اقترح بصورة مستقلة كُلٌ من آ . م . مكميلان Mc Millan في الوبات المتحدة وف . ج . فكسلر Veksler في الاتحاد السوفياتي مبدأ ثبوتية المرحلة لكي تُنجز مسرعات دائرية ذات طاقة عالية . وعلى هذا الأساس الذي يمكن من إبقاء الجزئيات على الخط مع التوتر العالي المسرِّع خلال عدد غير محدود من الدورات ، تمّ صنع نمطين جديدين من الآلات السنكروسيكلوترون والسنكروترون .

وقد أتاح السنكروسكيلوترون تسريع بروتونات (أوغيرها من الجزئيات الثقيلة) إلى حدود بضع مئات من Me V . وترسم الجزئيات مساراً لولبياً ؛ اما التواتر العالي فيضبط : فهو يتناقص كلما ازدادت طاقة الجزئيات وكتلها النسبية . ويبقى الحقل المغناطيسي ثابتاً . وقد تم تشغيل أول سنكروسيكلوترون أميركي في سنة 1946 في بركلي في الولايات المتحدة ، وتم تشغيل أول سنكروسيكلوترون في الاتحاد السوفياتي سنة 1949 في دوبنا . وقد تم حديثاً بناء سيكلوترونات مواقتة فيها يتغير الحقل المغناطيسي على طول شعاع كما يتغير سمتياً أي علواً . وتعطي هذه الآلات رزماً من الجزئيات ذات كثافة قوية . في السنكروترون ذي الالكترونات (وأول جهازٍ من هذا النمط شُغِل سنة 1946) ، اكتسبت الالكترونات بسرعة قصوى (حوالي 4 Me V) سرعة ثابتة تساوي عملياً سرعة الضوء : وابتداءً من هنا تحث الالكترونات بضغط مرتفع التواتر وثابت فترسم مساراً ذا شعاع ثابت في حقل مغناطيسي يزداد كلما ارتفعت طاقة الالكترونات . وتوضع المغناطيسيات بشكل حلقة على طول المسار . وتبنى اليوم سنكروترونات ذات الكترونات حتى حدود 7 Ge V . والصعوبات في التحقيق والانجاز تنشأ عن الخسائر الكبيرة في الطاقة نتيجة الاشعاع والتي تصيب الالكترونات في حركتها الدائرية . وتسرع السنكروترونات كما السنكروسيكلوترونات جزئيات بفضل النبضات المتتالية . وتجري محاولات أيضاً للحصول على زخومات مرتفعة . وقد حلَّ السنكرترون ذو الالكترونات ، في حالات الطاقة المرتفعة محل البيتاترون الذي صنعه كرست Kerst سنة 1941 . ويتكون البيتاترون المسرِّع من مغناطيس كهربائي مملوء القلب يعمل كمحول : وتسرع الالكترونات بالحث بفعل حقل مغناطيسي يتغير بسرعة عبر الزمن .

وطورت أيضاً المسرعات الخطية تطويراً كبيراً منذ الحرب [العالمية الثانية] وبصورة خاصة بفضل جهود الفاريز وهانسن ، وبانوفسكي Panofsky وآخرين .

وأصبحت هذه الانجازات ممكنة باكتشاف مبدأ استقرار المرحلة ، وبفضل تطوير تقنيات الرادار بخلال الحرب الأخيرة . وقد تم صنع مسرعات خطية ذات بروتونات وايونات ثقيلة ذات زخم قوي . واعظم الآلات الخطية هي مسرعات الكترونية فيها تستطيع الالكترونات ان تبلغ طاقات كبيرة جداً ، مع زخومات مرتفعة جداً : وتتاح القوة اللازمة بفضل سلسلة من الكليسترونات

تعمل بحدود ثلاثة آلاف ميغاسيكل . ويعطي المسرع الخطي في ستانفورد (كاليفورنيا) ضمة من الالكترونات من عيار 900 Me V . في اوروبي (فرنسا) تتيح آلة من نفس النمط الحصول على الكترونات من عيار (1 Ge V) ؛ وتصعد إلى (1,3 Ge V) . وفي ستانفورد هناك مشروع مسرع خطي ثانٍ طوله ميلين (3,2Km) : ويفترض به ان ينتج ما بين 10 إلى 20 Ge V .

وفي السباق الى الكترونات ذات طاقة عالية بدا سريعاً ان السنكروسيكلوترونات ذات أكثر من مليار من الالكترونات ـ فولت تقتضي اثقالاً من المغناطيس وأسعاراً باهظة . وبدت الحاجة ملحة إلى جهاز من نمط جديد . وفيّ سنة 1943 اقترح أوليفانت Oliphant بناء مسرِّع له شكل حلقة ، فيه يتم تسريع البروتونات تحت تأثير شعاع ثابت مع التناوب في تغيير الحقل المغناطيسي وفي تواتر الضغط المطبق .

وبعد الحرب ، أتاح مبدأ استقرار « المرحلة » تطبيق هذا المشروع الذي وضعه أوليفانت . ونفذ أول سنكروترون ذي بروتونات في برمنغهام . وكانت البروتونات تقذف داخل الحلقة بواسطة مسرِّع ذي طاقة أخف (خطي أو مسرِّع فان دي غراف Van de Graaff مثلاً) . وبنيت على التوالي كوسموترون Cosmotron بروكهافن ، وبيفاترون بركلي bevatron ، وسنكروفازوترون (Synchrophasotron) في دوبنا وساتورن Saturne في ساكلي . انها جميعاً سنكروترونات للبروتونات .

في سنة 1952 بينت أعمال كورانت Courant وليفينغستون Livingston وسنيدر Snyder وأعمال كريستوفيلوس Christofilos ، امكانية تحقيق سنكروترون ذي بروتونات ذات تبدل في الجهد في حقل مغناطيسي متناوب وذي تصويب قوي .

وأتاح هذا المبدأ المفيد بشكل خاص تخفيف أحجام غرفة التسريع والمغناطيسيات . وهو يطبق في أعاظم المسرعات العاملة حالياً : ان السنكروترون C. E. R. N في جنيف ، الذي شُغِّل في نهاية سنة 1959 ، يعطي للبروتونات طاقة من عيار (28,5 Ge V) ؛ اما الزخم فهو من عيار 2.10^{11} بروتوناً كل ثلاث ثوان . والسنكروترون العظيم في بروكهافن بدأ ينتج بروتونات من عيار (30 Ge V) سنة 1960 . وفي العديد من السنكروترونات التي تبنى في الوقت الحاضر ، يبذل جهد للحصول ، بآنٍ واحدٍ ، على طاقات كبرى وعلى زخومات كبرى .

ولتحقيق طاقات أعلى بكثير من الطاقات الحاصلة حتى الآن ، في نظام مركز الكتلة ، وضعت عدة مختبرات قيد التنفيذ حلقات تصادم بين الالكترونات . ويوجد أيضاً مشروع حلقات تصادم بين البروتونات (C. E. R. N) .

وهكذا وبأقل من خمسة عشر عاماً تضاعفت طاقة مسرّعات الجزئيات بمقدار ألفي ضعف . وقد بعدت المسافة اليوم عن الجهاز الصغير الذي كان في المختبر المبني بواسطة وسائل متواضعة والتي تكلم عنها لورنس سنة 1932 .

1 ـ سنكروترونات ذات بروتونات

الموقع	طاقة قصوى Gev	شعاع وسط بالأمتار	سنة التشغيل
المختبر الوطني في بروكهافن الولايات المتحدة الاميركية	30	128.5[1]	1960
C.E.R.N جنيف	28.5	100[1]	1959
المعهد الموحد ، دوبنا (الاتحاد السوفياتي) ، سانكروفازوترون	10.0	30.5	1957
جامعة كاليفورنيا بركلي (الولايات . . .) بيفاترون	6.2	19.2	1954
المختبر الوطني في بروكهافن (الولايات . . .) كوسموترون	3.0	9.1	1952
CEA وCEN ، ساكلي ، فرنسا	3.0	11.0	1958
جامعة برمنغهام بريطانيا	1.0	5	1953
قيد البناء :			
جامعة كنبيرا استراليا	10.6		
ضواحي موسكو (الاتحاد السوفياتي)	70.0	(1)	
ضواحي موسكو (الاتحاد السوفياتي)	7	(1)	
مختبرات روذرفورد هاوول (بريطانيا)	7		
المختبر الوطني في ارغون (الولايات المتحدة)	12.5		
مختبر برنستون بنسلفانيا ، برنستون (الولايات المتحدة)	3	زخم عال	
الجامعة التقنية دلفت (هولندا)	1		

بنيت المسرعات الأولى بعد الحرب من أجل درس التفاعلات النووية ، وبنية النواة ذات الطاقة الكبرى . وبعد اكتشاف ميزونين خيطيين π و μ في الاشعاع الكوني سنة 1946 ، جرت محاولة لوضع هاتين الجزئيتين اصطناعياً . وكانت الميزونات الاصطناعية الأولى قد لحظها غاردنر Gardner ولاتيس Lattès في بركلي سنة 1948 . وأمكن بعدها ، وبواسطة المسرعات ، انتاج الجزئيات الأخرى غير المستقرة التي اكتشفت تباعاً من الاشعاع الكوني ، ثم اكتشاف جديدٍ منها ، ودراسة تفاعلاتها ، وأساليب تفككها .

وقد غيّرت هذه الآلات ، في قليل من الوقت وبعمق ، أساليب العمل في الفيزياء النووية . ان بناء هذه المسرّعات يتطلب اعتمادات ضخمة تقتضي في بعض الأحيان قرارات على المسترى الحكومي ؛ وهي تسير على موازاة تطور سلسلة من الفروع الصناعية . وقد تركزت هذه الوسائل الضخمة في عدد محدود نسبياً من المراكز الكبرى للبحوث ، حيث يعمل جنباً إلى جنب فيزيائيون ، ورياضيون ، وكيميائيون ، ومهندسون ، يساعدهم عدد كبير من التقنيين والعمال .

وأصبحت التجارب عموماً من صنع مجموعات عمل كبيرة . وبذات الوقت تزايدت عملية التخصص وبناء عليه أصبحت الفيزياء النووية التجريبية والفيزياء النووية النظرية مهنتين منفصلتين . فضلاً عن ذلك قضى تطور المراكز الكبرى للبحوث بوجوب التعاون الدولي . وقد زاد هذا التعاون لحسن الحظ في السنوات الأخيرة .

(1) تبدل الجهد تناوبي ، تصويب قوي .

II ـ السنكروسيكلوترونات الرئيسية

الموقع	(طاقة بـ MeV)	(قطر القطع القطبية بالمتر)	سنة التشغيل
جامعة كاليفورنيا بركلي (الولايات المتحدة الاميركية)	350رفع إلى 730	4.7	دوتون وألفا سنة 1946
	——		بروتون سنة 1949
			1957
المعهد الموحد ، دوبنا (الاتحاد السوفياتي)	680	6.0	دوتون وألفا (*) سنة 1957
			بروتون سنة 1953
جنيف .C.E.R.N	600	5.0	1958
جامعة شيكاغو (الولايات . . .)	460	4.3	1951
جامعة كولومبيا (الولايات . . .) نيويورك	385	4.2	1950
جامعة ليفربول (بريطانيا)	410	4.0	1954
معهد تكنولوجيا كارنيجي بتسبورغ (الولايات . . .)	440	3.6	1951
جامعة روشستر (الولايات . . .)	240	3.3	1948
هاروِل Harwell (A.E.R.E)(بريطانيا) .	175	2.8	1949
جامعة اوبسالا (السويد)	185	2.3	1951
جامعة هارفرد ، كمبريدج (الولايات . . .)	159	2.4	1949
جامعة العلوم اورسي (فرنسا)	157	2.8	1958
جامعة ملك جيل مونتريال (كندا)	100	2.1	1949
قيد البناء :			
مختبر اوك ريدج (الولايات المتحدة)	800		
(سيكلوترون مواقت ذو زخم شديد)			

صورة 17 ـ جدول بالمسرعات العظمى ذات البروتونات

V ـ الأشعة الكونية والجزئيات الأولية

ان تاريخ الفيزياء النووية ذات الطاقات الكبرى والجزئيات الأولية مترابط بشكل وثيق ، على الأقل في بداياته ، بتاريخ الأشعة الكونية . ان هذا الاشعاع ، قد اكتشف في مطلع القرن العشرين وشكل لمدة طويلة المصدر الوحيد للجزئيات ذات الطاقة العظمى الضرورية للدرس العميق لخصائص المادة ومكوناتها . الا انه بعد ظهور المسرعات الكبرى للجزئيات ، انفصلت فيزياء الطاقات العالية بصورة تدريجية عن الأشعة الكونية ، واستقلت ، وارتدت طابعاً شبه صناعي .

فعلماء الكون تركوا الفيزيائيين في « محطمات الذرة » وذهبوا مزوّدين بالصواريخ وبالأقمار الصناعية لينضموا الى معسكر الفيزيائيين الفلكيين . وأصبحت الأشعة الكونية ، التي أتاحت فتح

مجال المتناهي الصغر ، والتي كشفت عن وجود جزئيات ذات طاقة ما تزال لا مثيل لها ، أداة قوية لدراسة الكون وتاريخه .

الاستكشاف الأول للأشعة الكونية ـ في سنة 1900 ، لاحظ فيزيائيون يقومون بأبحاث حول التوصيلية الكهربائية في الغازات ان الكشاف (الالكتروسكوب) يفرغ من شحنته ببطء وآنياً كما لو كان يجتازه شعاع ضعيف الزخم . وطرح ش . ت . ر . ويلسون فرضية قوامها وجود أصل خارج الأرض لهذا الاشعاع الغامض ، إلا أنه لم يستطع تقديم الدليل عليه . وعزي هذا التفريغ المفاجىء إلى تأثير النشاط الاشعاعي في القشرة الأرضية .

في سنة 1910 ، حمل غوكل مكشافاً كهربائياً في بالون ارتفع إلى علو 400 م ، دون ان يلاحظ نقصاً في زخم الاشعاع الطفيلي . في سنة 1912 قام هس Hess بسلسلة من التحليقات في البالون حتى علو 500 م ، وبيّن ان زخم الاشعاع يزداد مع الارتفاع ، وقد تأيدت النتائج التي تحصلت له بأعمال كولهورستر Kolhörster ، الذي قام ، بين 1914 و 1919 ولعدة مرات ، بتحليقات حتّى حدود 9000م . عند هذا الارتفاع لاحظ وجود تأيين طفيلي أعلى بعشر مرات من التأيين المرصود عند سطح البحر ، والتشعيع بدا هكذا أكثر نفاذاً من أشعة γ (غاما) الأكثر قوة .

وأثارت هذه النتائج العديد من المناقشات ، الا أن المنشأ خارج الأرضي للاشعاع الجديد ، الذي استشعره ويلسون وتأكد منه هس ، لم يقبل من الجميع الا ابتداء من سنة 1926 . وأطلق عليه الاشعاع الكوني ، أو الأشعة الفوقية غاما γ .

في سنة 1927 ، اكتشف الفيزيائي الهولندي كلاي Clay ، بخلال رحلة من أمستردام إلى باتافيا ، مفعول الارتفاع : ان زخم الاشعاع الكوني يتناقص انطلاقاً من القطب إلى خط الاستواء المغناطيسي .

هذا التغير تبعاً للارتفاع قد وضحته أعمال الفيزيائيين المختلفين ، وبصورة خاصة كومبتون Compton وميليكان Millikan ومعاونيهما . وتوجب عندها مراجعة الأفكار الأولى حول طبيعة الأشعة الكونية . وفسر أثر الارتفاع وكأنه من فعل الحقل المغناطيسي الأرضي على أوليات (Primaires) مشحونة افترضت انها الكترونات .

ومهما كانت طبيعته ، فالاشعاع الكوني يجب ان يتغير بعمق حين يجتاز الفضاء الأرضي وقد اكتشف ، في الاشعاع الثانوي ، عند مستوى البحر ، وجود مكونين : مكونٌ طري ، توقفه سماكة 10 سنتم من الرصاص ، ومكون قاسٍ لا ينقص الا بمقدار النصف عند اجتيازه حاجزاً من الرصاص بسماكة متر واحد .

في سنة 1927 ، استخدم سكوبلزين Skobelzyn غرفة ويلسون واستطاع تصوير بقايا الجزئيات المشحونة بالاشعاع الثانوي ، وهكذا لاحظ وجود جزئيات متشاركة ، تشكل ما سمي بالحزمات ، وحدد نبض الجزئيات بقياس المنحنى الذي ترسمه بقاياها في حقل مغناطيسي . ولاحظ هوفمان Hoffman الحزمات أيضاً في غرفة تأيين ، حيث بدت من خلال تغيير مفاجىء لتيار

التأيين (التفجرات bursts) .

في سنة 1932 استخدم بلاكت Blackett واوكشياليني نظام مصادفات لاستحداث غرفة ويلسون . بمثل هذا النظام من العدادات ، درس روسي سنة 1932 تطور الرزم المسماة الرزم المتدرجة . ولاحظ ان عدد الجزئيات المسجلة تحت جسم ماص من الرصاص مثلاً ، يزداد بزيادة سماكة الماص أولاً ، ثم يتناقص فيما بعد (مفعول الانتقال) واذن فالماص يحدث ، عند السماكة المناسبة ، تكاثراً في الجزئيات .

وتم العثور على مفتاح الظاهرة ، في ذات السنة ، عندما اكتشف اندرسون الالكترون الإيجابي ، المتوقع قبل سنتين بفعل نظرية ديراك Dirac . ولاحظ بلاكت واوكشياليني وجود الكترونات إيجابية بين جزئيات الرزم ، وطرحا الفرضية القائلة بأن هذه الالكترونات الإيجابية تولد مزدوجة مع الالكترونات السلبية ، عندما يتم امتصاص فوتون بجوار نواة (أنظر الفقرة II) . وهكذا أمكن تفسير ظاهرة الرزم المتدرجة ، أو الرزم الكهرضوئية .

ان الالكترون ذا الطاقة الكبيرة جداً ، المكبوح بعنف في الحقل الكهربائي الزاخم داخل نواة ، يشع قسماً من طاقته فيصدر فوتوناً . ويمكن للفوتون ، بجوار نواة ، ان يتجسد في زوج مؤلف من الكترون إيجابي والكترون سلبي . وكل واحدٍ من هذه الالكترونات يمكنه بدوره ان يبث فوتون كبح يتجسد فيما بعد . وهكذا تفهم عملية تكاثر الجزئيات ، عند اجتياز جسم ثقيل . عنده تتوزع الطاقة الأساسية بين عدد كبير جداً من الجزئيات فان هذه تصبح عاجزة عن التكاثر ، والرزمة تذوب بفعل الامتصاص .

وضعت نظرية هذه الحزمات في سنة 1934 من قبل بيث Bethe وهايتلر (Heitler) . ولكنها لم تنبىء عن سلوك المكون الصلب الذي كان موجوداً في أعماق سحيقة تحت الأرض . كانت هناك حلقة مفقودة ، لم تكتشف الا فيما بعد .

ان الرزمات الكهرضوئية قد تطورت أيضاً في الفضاء : انها حزمات الفضاء الكبرى أو حزمات أوجيه Auger التي اكتشفت سنة 1938 من قبل پ . أوجيه ومعاونيه . ان الجزئيات المقرونة بهذه الرزم أو الحزمات تضرب بآنٍ واحد سطوح عدة مئات من الأمتار المربعة . وهي تتيح اكتشاف الجزئيات الأكثر قوة في الاشعاع الأولي .

الاشعاع الكوني الأولي ـ وبذات الوقت تتابعت دراسة الأشعة الأولية ، وبصورة خاصة المفاعيل المغناطيسية الأرضية géomagnétiques . وبعد أثر الموقع ، تم سنة 1933 اكتشاف المفعول شرق ـ غرب ، أي زيادة الجزئيات آتية من الغرب . وقادت نظرية مسارات الجزئيات المشحونة في الحقل المغناطيسي الأرضي فالارتا Vallarta ، سنة 1938 ، إلى الاستنتاج أنّ المفاعيل الأرضية المغناطيسية تدلّ على سيطرة الأوليات الإيجابية . وبعد التجارب في الارتفاع العالي ، الجارية في بالونات فضائية عالية (Stratosphériques) ، أكد شاين Schein سنة 1940 ان الأوليات هي في الأساس بروتونات .

وتكون شدة البروتونات الأولية ضعيفة بمقدار ما تعظم طاقتها (E) . وهي تتغير تقريباً بمثل

$E^{-2,7}$ ويوجد لهذه الطاقة حد أدنى (الانقطاع الأرض مغناطيسي) الذي هو رهن بالارتفاع وبزاوية مسار الجزئيات مع الخط شرق ـ غرب : وهي تقريباً (2.19^9eV) في باريس ، وتتراوح بين 10 و60 مليار الكترون فولت (V) عند خط الاستواء . ان تيار البروتونات الأولية يعادل تقريباً جزئية بالسنتيمتر المربع وبالثانية عند ارتفاع باريس . اما توزيعها فهو موحد خارج الفضاء الأرضي .

وبعد الحرب سار اكتشاف الاشعاع الأولي في أعالي الفضاء بنشاط كبير بفضل البالونات السابرة وبفضل الصواريخ من نمط (V_2) . وفي مختلف بلدان العالم ، ارسلت مجموعات من الفيزيائيين إلى الأعالي جهازاً خفيفاً ، وبصورة خاصة لدائن حساسة (فوتوغرافية) للتصوير ذات جزئيات مشحونة [بالكهرباء] . وأدى التفحص المجهري (الميكروسكوبي) لهذه اللدائن ، بعد تحميضها ، إلى اكتشاف العديد من المسارات الدقيقة جداً ، المتجسدة بحبيبات من الفضة . في سنة 1948 ، أعادت صفيحة فوتوغرافية عرضت على ارتفاع 30 كلم إلى الأرض ظاهرة جديدة : أثراً كثيفاً إلى درجة إمكانية رؤيته بالعين المجردة ! وهكذا أمكن اكتشاف وجود نوى عناصر متنوعة ، وهليوم ، حتى الحديد ، وحتى أبعد من ذلك وكلها عارية من الكتروناتها ، إلى جانب البروتونات الأولية . هذه النوى تتفكك سريعاً عند ملامسة الفضاء وهذا ما يفسر عدم العثور عليها بصورة أبكر .

وبعدها تم تحديد نسبة مختلف النوى الاولية (التأيين ، من هنا كثافة الاثر البادي في اللدائن ، وهذا التأيين يتناسب مع مربع شحنة النواة) وهذه النسبة بدت مشابهة بالنسبة في عناصر الكون مما اعطى اهمية جديدة لمسألة الاشعة الكونية .

لان مسألة المنشأ التي طرحت منذ اكتشاف الاشعة الكونية ما تزال غير محلولة . ووجه الصعوبة فيها يتأتى بشكل خاص من وجود اوليات طاقة بالغة الارتفاع . وحديثاً عثر بفضل رزم أوجيه ان الاشعة الكونية تولد في الفضاء بروتونات ذات طاقة من عيار $10^{18}eV$ اي 0,16 جول . في بادىء الامر ساد الظن ان الاشعة الكونية تتولد عن الشمس وان الحقل المغناطيسي الارضي يفسر وحدة خواصها في اعالي الفضاء . وفي الواقع يلاحظ وجود ترابط بين شدة الاوليات ذات الطاقة المنخفضة وبين النشاط الشمسي . ولكن الشمس لا تعتبر مسؤولة عن ولادة الجزئيات ذات الطاقة المرتفعة جداً .

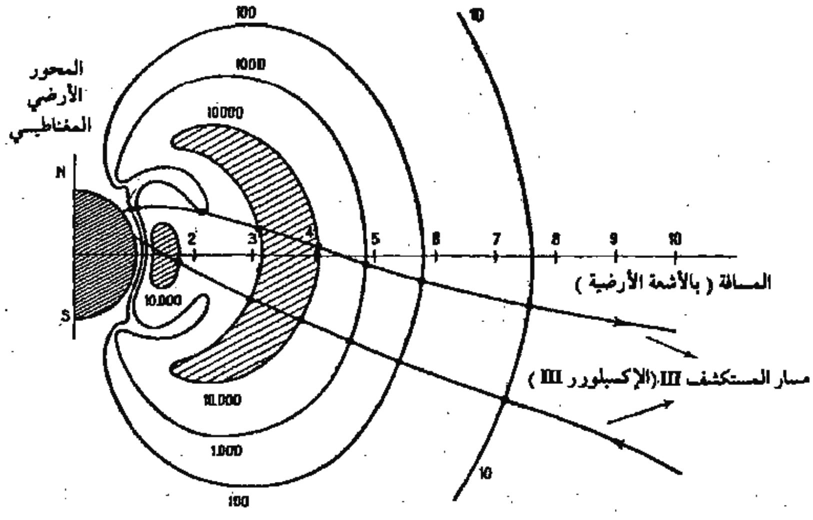
وهذا ما حمل العلماء على القول بفرضية المنشأ المجري للاشعة الكونية ، فهذه الاشعة تنبثق بكل طاقتها بفعل الحقول المغناطيسية الموجودة بين الكواكب . وتشبه هذه النظرية التي وسعها فرمي سنة 1949 طريق المجرّة في سمائنا بمسرع ضخم جداً للجزئيات . واثبت علماء فيزياء الفلك بواسطة قياسات كثافة الضوء المبثوث من الكواكب وجود مثل هذه الحقول المغناطيسية (من عيار يتراوح بين 10^{-5} حتى 10^{-6} من الغوسات gauss) . وتدور مسارات الجزئيات حول خطوط قوة في الحقل مما يبقيها في المجرة ويعطيها توزيعاً موحداً .

ولكن أمكن تبيين ان الاوليات ذات الطاقة العليا التي تقارب 10^{17} eV المنبثقة عن الكواكب البعيدة ليست منحنية بشكل كافٍ وتهرب من المجرة ، ما لم تكن مبثوثة وفقاً للسطح الاستوائي

للمجرة . ويتوجب اذاً ترقب انشطار في طيف الطاقة وترقب أثر تـوجهي لأوليـات الطاقـة التي تزيـد على 10^{17} eV .

واجـريت تجارب ضخمـة معظمهـا في الولايـات المتحدة والاتحـاد السوفيـاتي وفيها وزعت كشافات الجزئيات في مساحة اتساعها كيلومتر مربع . واستخرجت طاقة الشعـاع الكوني الاولي من بنيـة حزمـة أوجيه التي احـدثها هـذا الشعاع ، واستنتـج اتجاه من فـرق الوقت بين مجيء جـزئيات متعـارضة تمـاماً . وحتى الآن لم يـلاحظ وجود تغيّـر مفاجيء في طيـف الـطاقة ، ولا بث امتيـازي بجوار الخط الوسط من طريق المجرة . هل يتـوجب إذن الافتراض ان مجـرتنا تحيط بهـا « هالـة » مغناطيسية دائرية ؟ أو أنّ الأشعـة الكونيـة تأتي من مكـان أبعد بفضـل وجود حقـول مغناطيسيـة في الفضاء الواقع بين المجرّات ؟ لا يمكن الآن الاجابة عن هذه الاسئلة المتحدية .

منذ 1957 جاءت الاقمار الصناعية والصواريخ الكونية تزيـد من وسائـل الاستقصاء بين يـدي علماء الكون وحتى سنة 1953 بدا ثابتاً ان شدّة التشعيع الكوني تزداد انطلاقاً من الارض حتى ارتفاع 20 كيلومتراً تقريباً ثم تنخفض حتى 40 كيلومتراً ، وبعدها تبقى ثابتة فيما وراء الفضاء الأرضي . ومنذ سنـة 1953 اثبت الفيـزيـائي ج . آ . فـان آلن Van Allen ومعـاونـوه بفضـل صـواريـخ اطلقت من بالونات ، تزايداً في شدة الاشعاع ذي الطاقة الضعيفة في المسـافات التي تبعـد حوالي مئـة كيلومتر عن الارض . ولكن الفشـل النصفي في الكوكب الصنـاعي الاميـركي إكسبلورر III سنـة 1958 هـو الذي ادى الى الاكتشاف المهم لاحزمة الاشعـاعات . فقـد أدّى التسير المشـوه لنظام التـوجيه الى اعطاء هذا القمر الصناعي مداراً طويلاً جداً مما اتاح استكشافاً كاملاً للفضاء الخارجي حتى حـدود تزيد على 3 آلاف كيلومتر ارتفاعاً .



صورة 18ـ أحزمة الاشعاع الأرضي (ج . فان اكن ، 1959).

وقيمت هذه النتائج ووسعت بفضل الصواريخ الكونية السوفياتية وبفضل الكشافات الاميركية . وعرف بعد هذه التجارب الشهيرة ان الأرض محاطة بحزامين من الاشعاع .

فالمنطقة الداخلية ضيقة نسبياً وتبعد حوالي 3600 كيلومتر عن كوكبنا على خط الاستواء الارض مغناطيسي . اما المنطقة الخارجية فتبدو اقرب ان تكون غلافاً مقطعه بشكل هلال وسماكته القصوى بمقدار شعاع الارض ، ويقع على بعد وسطي قدره 16 الف كيلومتر فوق خط الاستواء الارض مغناطيسي ، وهو يغطي كامل الارض ما عدا في منطقة القطبين . في هاتين المنطقتين تتجول الكترونات من عدة مئات من الكيلو الكترون فولت Kev (القادرة عند ملامسة غطاء صاروخ ، ان تخلق اشعة سينية في منتهى الصلابة) ، وبروتونات ذات طاقة تعادل عشرات الميغا الكترون فولت Mev . اما معدل التشعيع فهو أكثر من مليون مرة اعلى من معدل الشعاع الكوني ، وهو يتجاوز الى حدٍ بعيد المستوى المحمول .

(من الميزون μ الى الميزون π) أو من الاشعة الكونية الى مسرعات الجزئيات ـ قبل الحرب العالمية الثانية بسنوات بدا الكون الفيزيائي وكانه مبني من عدد محدد من المكونات الاولية . الا انه في سنة 1935 تنبأ المنظر الياباني هـ . يوكاوا Yukawa بوجود جزئية جديدة هي الميزون (اي المتوسط) .

ان البروتونات والنترونات في النواة مربوطة فيما بينها بقوة من نوع خاص تسمى القوة النووية . وكما ان التفاعل بين شحنتين كهربائيتين يفسر في الميكانيك الكمي كتبادل في الفوتون ، كذلك التفاعل بين نكليونين ، يجب ان يفسر بتبادل في جزئية أخرى هي كمّ الحقل النووي . ولكن طبيعة القوة النووية المتميزة بشعاع محدود الاثر تعطي كتلة لهذه الجزئية . واحتسب يوكاوا أنّ هذه الكتلة يجب أن تعادل مئتي ضعف كتلة الالكترون . وتنبأ أيضاً أنّ الجزئية الجديدة غير مستقرة وأنّها تتفكّك بعد حياة من 10^{-7} من الثانية ، بعد بث الكترون واحد ونترينو .

وبذات الحقبة شعر علماء الكون بعجزهم عن تفسير قدرة النفاذ التي للمكونة الصلبة ، بواسطة الجزئيات المعروفة ، فاستشعروا الحاجة الى وجود جزئية جديدة . ولكن لكي تكون جزئية يوكاوا موجودة خارج نطاق الحساب ، كان لا بد من ان يكون التفاعل بين النكليونات في منتهى العنف ، كما يحدث في الاشعاع الكوني . وبالفعل لاحظ اندرسون سنة 1938 في غرفة ويلسون مسار جزئية تساوي كتلتها ما يقارب من مئتي ضعف كتلة الالكترون . وفي سنة 1940 ودائماً في غرفة ويلسون حصل وليامس Williams وروبرت Robert على اول كليشيه تبيّن تفكك الميزون الكوني الى الكترونات .

وبدا كل شيء محلولاً وبدا عالم الفيزياء منظماً تنظيماً كاملاً . ولكن ذلك لم يكن الا بداية سلسلة طويل من المصاعب التي اخذت تتزايد وما تزال ، وخلال بضع سنوات سوف يرى الفيزيائيون ، بصورة تدريجية الوفاق الجميل بين النظرية والتطبيق ينهار .

فكتلة الميزون Méson الكوني وقد حُدّدت بدقة اكبر ، بدت تفوق 200 me ، في حين ان

الكتلة النظرية ، المحسوبة وفقاً للمعطيات الجديدة التجريبية التي اخذت عن القوى النووية ، كانت تزيد حتى حدود 300 me . اما حياتها الوسطى ، حوالى 2.10^{-6} ثانية ، فكانت اكبر بعشر مرات من القيمة التي حسبها يوكاوا .

واخيراً في سنة 1946 توصل كونفرسي Conversi ، وبانسيني Pancini وبيشيوني Piccioni الى غربلة مغناطيسية للميزونات الايجابية والسلبية لدراسة تفاعلاتها مع المادة . وانتهوا الى مفارقة : فهذه الجزئية التي أوجدت ، تفضلاً ، في التفاعلات النووية ذات الطاقة الكبيرة، تتفاعل تفاعلاً ضعيفاً جداً مع المادة .

وكان لا بد من التسليم : فالميزون الكوني لم يكن الجزئية التي قال بها يوكاوا . في سنة 1947 بدأ تطور سريع جداً في الفيزياء ذات الطاقات العليا ، وظهور كثيف مزدهر للجسيمات الجديدة . فقد توصل الفيزيائيون وبخاصة جماعة مختبر بريستول ، الى وضع تقنية جديدة في مرتبة الشرف ، هي تقنية التقاط الاشعاعات بواسطة الصفائح الفوتوغرافية . ولكن الامر معلق اليوم بلدائن اكثر حساسية بكثير ، ذات سماكة من بضعة اعشار المليمتر . وادى تفحصها مجهرياً الى اكتشاف آثار تختلف دقتها تعود الى جزئيات مشحونة . ويظهر انفجار نواة تحت تأثير صدمة جزئية سريعة ، بشكل عدد كبير من الآثار المنطلقة من نفس النقطة ، وسميت هذه الظاهرة « النجمة » .

في سنة 1947 شاهدت مساعدة في جامعة بريستول ، فوق صفيحة فوتوغرافية ، عرضت في الجبل ، ظاهرة غريبة لم تعرف كيف تفسرها . فهناك اثر يمتد متكسراً فوق اللدينة مما يدل على وجود جزئية تتباطأ بفعل تأيين ذرّات المكان المقطوع . وينطلق من نقطة النهاية اثر ادق ينتهي هو بدوره بعد اجتياز مسافة تقارب 600 ميكرون . بعد ذلك بقليل استطاع لاتيس Lattès واوكشياليني وباول Powell ان يعلنوا عن وجود ميزونين مختلفين : ميزون يسمى π ، يولد من التفاعلات النووية كما تنبأ به يوكاوا ، ويتفكك الى ميزون ثانوي μ الذي لم يكن إلاّ الميزون الكوني .

وسرعان ما تبين ان مخطط تفكك الميزون π يتم كما يلي : ميزون π ← ميزون μ + نترينو .

وبدت دراسة تفكك μ اصعب . وتوصل بونتكورفو Pontecorvo الى وضع التفاعل : ميزون μ ← الكترون + 2 نترينو .

وفي سنة 1948 اخذت المسرعات تدخل المجال المخصص للاشعاع الكوني . حتى ذلك الحين كانت السيكلوترونات تتيح فقط دراسة التفاعلات النووية ذات الطاقة المنخفضة . في سنة 1948 ، اوجد سنكرو سيكلوترون بركلي ذو الـ 184 بوصة ، والذي يزن مغناطيسه 4000 طن ، الميزونات π الاولى الاصطناعية . وفي نفس الحقبة تقريباً ، تمَّ في موسكو بناء جهاز من نفس النمط . واصبح بالامكان التجريب على الميزونات باستعمال الحزمات ذات الزخم المحدثة بواسطة السنكرو سيكلوترون . وامكن تحديد الكتل والحياة المتوسطة ، والدوران أو الغزل . وتتالت دراسة تفاعلات الميزونات π حتى وقتنا الحاضر ، في مختلف المختبرات في العالم ، مجهزة بمسرعات (الولايات المتحدة ، الاتحاد السوفياتي ، بريطانيا ، فرنسا ، و C. E. R. N) .

في سنة 1948 كانت معروفة فقط الميـزونات π و μ السلبيـة والايجابيـة . ولكن الحاجـة الى ميزون حيادي بدت ملحة لتفسير التفاعلات بين نترونين وبروتونين . في سنة 1950 ، اثبت فيزيـائيو بركلي وجود ميزون π^0 ، وهو جزئية عارضة تتفك بسرعة الى فوتونين . في حين انه لا يوجد ميـزون μ حيادي .

ان الميـزونات π تشكـل الحلقة النـاقصة لتفسيـرنا لتـطور الاشعـاع الكـوني الثـانـوي . ان الميزونات π المشحونة أنشئت في تفاعلات البروتونات الاولية مع النوى الفضـائية ، وهي تتفكـك وتنحل الى ميزونات μ ذات تفاعل نووي شبه معدوم ، وتشكل المكون النفاذ . وتتفكك الميزونات π^0 الى فـوتـونـات قوية جداً ، وهي في اســاس المكون الضـوء ـ الكتروني . ان نفس التفـاعلات سوف تحدث بروتونات اخرى ونترونات اخرى تتفاعل بدورها وفقاً لتفاعلية تدريجية .

تقـدم التقنيات الادواتيـة ـ بخلال السنوات العشر الاخيـرة تطوّرت الفيـزياء التجـريبية نحـو التضخم فـالمختبرات حيث كـانت تـدار بعض الادوات الضعيفـة تحـولت الى معـامـل بحق حيث تشتغل مجموعة من الفيزيائيين ، والمهندسين ، والتقنيين والعمال . والبحث لم يعد يجـري بنشاط الا بفضل مجموعات عديدة مزودة بوسائل قوية .

في السنكروترونات البروتونية ، التي وضع اول نموذج منها قيد التشغيـل سنة 1952 ، يجتـاز كل بروتون قبل أن يبلغ ذروة قوته ، مسافة من عيار المسافة بين الارض والقمر .

وبخلال لحظات من بضع ثوانٍ يعطي السنكروترون نفخة من 10^{10} الى 10^{11} بـروتون بخـلال دورة التسـريع . وفي نهـاية الـدورة ، يقذف بهـدف في حزمـة البروتـونات التي تتجـول في غرفـة فـراغية . ان هـذا الهدف ، هـو مركـز العديـد من التفاعـلات ، ويقذف بجـزئيات ثـانويـة . هـذه الجزئيات الثـانويـة يمكن غربلتهـا ، وتحليلها ، وتصـويبها بـواسطة مغنـاطيسـات حـارقة وبـواسطة عدسات مغنـاطيسية من عـدة اطنان . وهكـذا تتشكل رُزم من الجـزئيات تـرسل بـاتجاه الـلاقطات المتخصصة . ومنذ عدة سنوات بدىء باستعمال فاصلات ذات صفائح متوازية طولهـا عدة امتـار . والمـزج بين حقل مغنـاطيسي وحقل كهـربائي (محـدث بفعل ضغط عـدة الاف من الفولتـات بين الصفائح) يحرف الجزئيات باستثناء بعضها ذات السرعة المعينة .

واصاب التطوير والتغيير لاقطات الجزئيات . واصبحت اللدائن الفوتـوغرافيـة التـي ازدهرت ونجحت في سنـة 1947 ، كثيرة الحسـاسية بمـا يكفي لتسجيل إثـار الجزئيـات المشحونـة والاكثـر سرعة .

ونعـرض على ارتفاع عـالٍ جداً ، بـواسطة البـالونات الفضـائيـة أو في الـرزم الصـادرة عن المسـرعات كدساً من الاوراق المعجونية بدون دعم فتشكل لاقطاً صلباً يبلغ حجمـه عدة ليترات . وبعد التحميض يصبح من الممكن بواسطة المجهر تتبع اثر جزئيـة من ورقة معجـونية الى اخـرى . مما ادى الى فيض غزير من الاكتشافات . وفقدت اليوم الصفائح الفوتـوغرافيـة دورها المهم الـذي كان لها بفضل خفة وزنها وبساطة استعمالها . وعرفت غرفة ولسـون المحدثـة بفعل العـدادات هي أيضاً لحظة مجد .

وقد تم بناء غرف كبيرة يبلغ حجمها متراً مكعباً أو اكثر . وكانت بعض التجارب تقتضي وجود غرفتين متراكبتين الاولى ضمن حقل مغناطيسي والثانية تحتوي على صفائح تتفاعل فيها الجزئيات . وقد ظهرت هذه التقنية مثمرة للغاية في حالة الاشعاع الكوني ، ولكنها كانت غير ملائمة بالنسبة الى المسرعات لانها لا تستطيع تتبع وتيرتها .

والآلة المختارة في فيزياء الجزئيات الاولية هي اليوم الغرف ذات الحبيبات وقد ابتكر مبدأها د . آ . غلايزر Glaser سنة 1952 .

يترك سائل قريب من درجة الغليان فجأة يتمدد . وعندها يبدأ الغليان داخل السائل ، وتظهر حبيبات البخار الاولى فوق الايونات التي تركها مرور جزئية مشحونة . ويتجسد المسار عندئذٍ هنا بخط من الحبيبات داخل السائل . وتجمع غرفة الحبيبات حسنات العجينة الفوتوغرافية (وسط مكثف ، واذاً احتمالٌ كبيرٌ برصد التفاعلات) وحسنات غرفة ولسون (ابعاد كافية لرصد التفكك في الجزئيات غير المستقرة) . ويمكن ان يكون السائل المستخدم مادة البروبان وهو سائلٌ ثقيل (مزيج من البروبان ويودور المثيل أو الفريون أو حتى الزينون) ، وهذا السائل يسهل عملية تجسيد أشعة γ ويتيح التقاط جزئيات π^{o} ، أو الهيدروجين . وغرف الهيدروجين السائل تمكن مباشرة من دراسة التفاعلات بين الجزئيات وبين البروتونات . وغرفة الهيدروجين في مجموعة الفاريز ، في بركلي لها طولٌ يبلغ المتر . وهناك غرف أخرى أكبر قيد البناء . انها تجهيزات معقدة جداً تقتضي مساعدة العديد من التقنيين .

والغرف ذات الحبيبات قادرة على تتبع وتيرة المسرعات اي يمكن اطلاقها على فترات من بعض الثواني . ويمكن تصور دراسة ظاهرة خاصة يستخدم فيها قسم مؤلف من مئة الف صورة او اكثر يجب استخدامها باسرع ما يمكن . والتحميض يتم من قبل جيش من المراقبين . اما التحليل للاحداث الملتقطة فيتم بشكل اوتوماتيكي نوعاً ما ، حيث تسجل النتائج بشكل بطاقات مثقبة تنقل معلوماتها الى حاسب الكتروني . .

والحاسب جيجر ـ مولر Geiger - Muller قد زال هو ايضاً لتحلّ محله لاقطات اخرى ذات انابيب الكترونية تضاعف الصور الضوئية .

واطواق التطابق يمكنها ان تميز بين معجونتين تفصلهما مسافة من عيار واحد على مليار من الثانية . وبعض التجارب الحديثة تتضمن مئات الوامضات والمضاعفات الضوئية . وتحلّل الومضات بواسطة اطواق الكترونية ومعظمها مضخم بواسطة جهاز ترانزستور [التي هي آلة لتقويم التيارات الكهربائية وتضخيمها] . وتسجل النتائج مباشرة في ذاكرة مغناطيسية ثم تنقل ، بين حلقتين من حلقات المسرِّع ، الى شريط مثقب او الى شريط مغناطيسي بشكل يمكن من استعمالها بواسطة حاسب الكتروني .

ويستخدم ايضاً حاسب سيرنكوف وفيه يلتقط الضوء الصادر عندما تجتاز جزئية ما فضاءً شفافاً بسرعة تفوق سرعة الضوء في هذا الوسط . وتتيح هذه اللاقطات تحديد سرعة الجزئيات مباشرة .

إنّ سلسلة اللاقطات الكشافة تتزايد سنة فسنة . نذكر منها فقط الغرفة ذات الشرارات : وفيها

يتجسّد مسار الجزئية بواسطة شرارات تنبثق بين صفائح معدنية محمولة إلى مستويات شحن مرتفعة . وتبدو هذه التقنية شائعة الاستعمال في التطبيقات العملية .

كثرة الجزئيات الغريبة ـ ان وجود جزئية أثقل من الميزون π كان فكرة أوحى بها ، سنة 1944 لبو برنس ـ رنغيه Leprince - Ringuet وليريتيه Lhéritier ، أثناء تحليل صدام داخل غاز غرفة ولسون ، في سنة 1947 لاحظ روشستر وبتلر أيضاً في غرفة ولسون أثرين متشعبين فُسِرّا بالتفكك اثناء الطيران ، أحد هذين الاثرين يعود إلى جزئية حيادية والآخر يعود إلى جزئية مشحونة . وكانت كتلة هذه الجزئيات تعادل ألف مرة تقريباً كتلة الالكترون . وبخلال السنوات الثلاث التالية تم الحصول على عشرات من هذه الاحداث بفضل مجموعات اندرسون وبلاكت التي اقترحت تسمية هذه الجزئيات « الجزئيات V » .

وفي سنة 1949 رَصدت مجموعة باول Powell في بريستول ، فوق سطح صفيحة فوتوغرافية أثر جزئية تتفك عند وقوفها إلى ثلاثة ميزونات . وكانت كتلة هذه الجزئية تقارب من ألف me وسميت هذه الجزئية τ (تو) .

وفي سنة 1951 لاحظت مجموعة منشستر، وهي تحلل قسماً من 36 حدثاً وجود جزئيتين مسؤولتين عن الجزئيات V الحيادية ، تتفكك وتحلل بالشكل التالي : $V^{o}1 \rightarrow$ بروتون + π^- ؛ $V^{o}2 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$. وفي نفس السنة ظهرت أيضاً أنماط جديدة من هذه الجزئيات غير المستقرة. ودرس أوسيلي O'Ceallaigh على نفس الصفائح الفوتوغرافية توزيع طاقة الالكترونات المبثوثة أثناء تفكك الميزونات μ ولاحظ وجود حدثين جديدين. هناك جزئية كتلتها من عيار ألف me تتفكك في حالة السكون باثة في حالة أولى جزئية ثانوية شديدة الطاقة، وفي حالة أخرى تبث ميزون μ من عيار 6MeV. وافترض أوسيلي وجود جزئية جديدة سماها κ (كبا Kapa) تتفكك إلى ميزون μ وإلى جزئيتين حياديتين (الجزئية الثانوية المشحونة لا تتمتع بطاقة ثابتة). واقترح مخطط التفكك التالي : ($\kappa^+ \rightarrow \mu^+ + \pi^o +$ نترينو)، ولم يتأكّد هذا المخطّط إلاّ في سنة 1958 بفضل فريق جامعة روشستر في الولايات المتحدة .

وأثناء القيام بذات العمل لاحظ مينون Menon واوسيلي وجود احداث أخرى لا يمكن تفسيرها بمخططات التفكك المعروفة . وفي سنة 1953 اكدا على وجود جزئية جديدة χ (كي) : ($\chi^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^o$)

وفي سنة 1952 نشر فريق منشستر اول مثل عن حدث فريد من نوعه اسمه تدرج V . وقد أظهرت نفس الكليشيه أثراً مشعّباً وV مقلوبة مما يدل، على ما كان يبدو ، ان التفكك يحصل أثناء الطيران لجزئية مشحونة فيعطي جزئية ثانوية مشحونة ويعطي أيضاً V^o [جزئية غير مشحونة] . ولم يتأكّد هذا الحدث إلا في سنة 1953 - 1954 بفضل مجموعتي اندرسون ولوبرنس ـ رنغيه .

وفي سنة 1953 رصدت مجموعات عدة من الباحثين في اللدائن الفوتوغرافية وفي غرف ولسون اثار جزئيات أثقل بكثير من البروتون ، تتفكك عند التوقّف وتعطي جزئية مشحونة سريعة .

وقدم مؤتمر بانيير دي بيغور Bagnères de Bigorre ، سنة 1953 ، بعض الايضاح في الشروحات وحول الافكار . وعلى أثر هذه المواجهة العريضة ، لوحظ بوضوح وجود مجموعتين داخل الجزئيات الجديدة غير المستقرّة : الميزونات K ، ذات الكتلة الموجودة بين كتلة الميزون ـ بي ـ π وكتلة البروتون ، ثم الهيبرون [جزئية أولية ، قليلة الاستقرار ، كتلتها أكبر من كتلة النوكليون] وكتلته أكبر من كتلة النترونات .

في مجموعة الهيبرونات أطلق رمز Λ° على V_1^0 القديم ، وسيغما Σ على الجزئيات التي اكتشفت حديثاً ، Ξ (إكزي) على الجزئية المسؤولة عن تدرج V . أما الكتل فكانت على التوالي 2000, 2300 و 2500 me ميزون .

وبقيت مجموعة الميزونات K اكثر غموضاً . ويمكن اعتبار الـ V°_2 التي قال بها اخصائيو غرفة ويلسون وكأنها المقابل أو العوض الحيادي لـ χ عند دعاة الصفائح الفوتوغرافية . واطلق على هذه الميزونات اسم Θ^+, Θ° (تيتا Téta) : وتنبأ داليتز Dalitz سنة 1953 بنموذج آخر من تفكك (تو Tau) τ الى π واحد مشحون وإلى اثنين من π° .

ان هذا التو (τ) قد اكتشف سنة 1954 في روتشستر Rochester في الولايات المتحدة . ورغم القياسات المتكررة والتي تتزايد دقتها ، ورغم اقتصارها على عدد محدد من العناصر ، بد من الصعب العثور على فرق في الكتلة أو في الحياة الوسطى بين (تتا Téta) Θ والتو τ و κ (الكابا Kapa) التي اعتبرت جميعها مظاهر مختلفة لنفس الجزئية .

وطرحت الجزيئات الجديدة غير المستقرة مسألة خطيرة على المنظرين . ان الحياة المتوسطة ، من عيار 10^{-10} من الثانية بالنسبة إلى الكابات K الحيادية والهيبرونات تبدو مناقضة مع انتاجها الخصب نسبياً . وتؤدي الحسابات إلى قيمة أدنى بكثير .

وقدّم مختلف المنظرين ، ومنهم پيس Pais ، سنة 1952 ، فرضية الانتاج المقرون بجزيئات جديدة غير مستقرة مثلاً : π + نكليون ← $K + \Lambda^\circ$.

ويخرّب تفكك هذه الجزيئات بعض قاعدة الانتقاء المجهولة ، المشابهة للقواعد التي تحكم التنقلات الذرية . فالتفكك كان إذاً « انتقالاً ممنوعاً » ، مما يفسر حياته المتوسطة الاطول . والمقابل يشبه الانتاج المشترك ، وهو يتيح عدم خرق هذه القاعدة « انتقالاً مسموحاً به » . وجاءت نتائج تجارب بروكهافن Brookhaven تؤيد هذه الافكار .

وبصورة مستقلة أوضح كُلٌ من جل ـ مان Gell - Mann ونيشيجيما Nishijima مخطط پيس ووضعا تصنيفاً للجزيئات الجديدة غير المستقرة . واعطى جل ـ مان لكل جزئية عدداً جديداً كمياً ، دونما معنى فيزيائي ظاهر اطلق عليه تسمية « الغرابة » S .

ان الجزيئات العادية أي المزدوج بروتون ـ نترون (وهما نسختان لنفس الجزئية التي هي النكليون ولا نميّز بينهما الا بالتفاعلات الكهرمغناطيسية التي جعلت مسؤولة عن اختلاف كتلهما فيما بينهما) ، والمثلثة $(\pi^+ - \pi^\circ - \pi^-)$ ، تتميز بغرابة معدومة : $(S = 0)$ [S يعني غرابة] . وادت

البحوث النظرية بجل ـ مان الى افتراض وجود « فريد Singulet » $\Lambda^\circ (S = -1)$ ، والى افتراض وجود مثلث $\Sigma (S=-1)$ ، والى وجود مزدوجة $\Xi \ (S = 2)$ ، والى وجود مزدوجتين : $K^+ - K^\circ$ (+1=S) و $K^- -$ نقيض K°(S=−1) .

ان هذا المخطط يشرح تماماً الظاهرات المعروفة . وفي انتاج $K - \Lambda^\circ$ تكون الغرابة (S) الكاملة معدومة ولكن K لا يمكن الا ان تكون K^+ أو K° . أما K^- يجب ان تكون بانٍ مع K^+ مما يقتضي طاقة أكثر شدة . وفي التفكك $\Lambda^\circ \rightarrow p + \pi^\circ$ تختلف الغرابة بمعدل وحدة ، وعندها تخترق قاعدة حفظ الغرابة .

ولكن هذا التصنيف ، كتصنيف مندلييف القديم ، اتاح أيضاً القيام بتنبؤات : Σ° المشتبه بها منذ عام 1945 في بروكهافن اكتشفها ولكر سنة 1955 . و Ξ° قد لوحظت فقط سنة 1958 في بركلي في غرفة لحبيبات الهيدروجين السائل ؛ ولا يعرف الا بعضٌ من نماذجها .

إلاّ ان تصنيف جل ـ مان ـ نيشيجيما Gell - Mann - Nishijima لا يُنَبِّىء الا بنمط واحد من الميزون K في حين ان مختلف أنواع التفكك سوف تتضاعف . ويرمز اليها الآن بما يلي ،$K_{\pi 3}$ (τ) $K_{\mu 3}$ (κ) ، K_{π_2} (χ) . واكتشفت مجموعة بريستول النموذج (أنترينو + π° + الكترون $\rightarrow K_{e3}$) . في سنة 1945 ضمن المستحلبات النووية ؛ وأثبتت مجموعة مدرسة البوليتكنيك سنة 1955 : (نترينو $\mu + \nu$ ميزون $\rightarrow K_{\mu 2}$ النموذج) ، في تجربة تتضمن غرفتين من غرف ولسون متراكبتين تعملان في قمة بيك دو ميدي Pic du Midi في فرنسا ورصدت نماذج تفكك Λ° و K° في الجزئيات الحيادية سنة 1955 - 1956 في بروكهافن ، ضمن تجارب على العدّادات وعلى غرفة الحبيبات . وتم اثبات نماذج تفكك الميزونات K السلبية ، المتوافقة مع ما يمكن توقعه من سلوك الميزونات الايجابية ، بصورة متتالية سنة 1953 حتى سنة 1957 . وأصبح الجو مهيئاً لقبول وجود ميزون K وحيد يسلك سلوكات مختلفة ، والصعوبة الوحيدة التي أزعجت لمدة طويلة علماء الفيزياء تكمن في التناقض الظاهر بين τ و Θ ، ولكنها حُلَّت سنة 1956 باكتشاف عدم الاحتفاظ بالتكافؤ في التفككات .

ولكن في مختلف المختبرات ، احتفظ فيزيائيون في ملفهم بأمثلة عن احداث غير عادية . في سنة 1955 توصل جل ـ مان وبيس Pais ، من خلال اعتبارات نظرية معقدة ، إلى التنبؤ بوجود ميزونين حياديين ، احدهما حياته المتوسطة 10^{-10} من الثانية ، والآخر حياته المتوسطة أطول ويتفكك إلى ثلاث جزئيات ، وإذاً مسؤول عن احداث غير عادية . وافترضت نظريتهم ان الميزونات الحيادية المحدثة بخلال تفاعل ما هما K° أو $\bar{K}^\circ$ (أو نقيض K°) ، بحسب الغرابة المطلوبة . واثناء عملية التفكك ، ينعدم K° و $\bar{K}^\circ$ ويبقى فقط K°_1 أو K°_2 ، باعتبار هذين المظهرين لـ K الحيادي هما « مزيج من K° و $\bar{K}^\circ$ (وبالعكس) . وحتى بالنسبة إلى الجزئيات الغريبة ، انه سلوك غامض لا يمكن فهمه الا من خلال النظرية الكمية . وقد تحققت هذه الفرضية في بروكهافن من قبل فيزيائيي جامعة كولومبيا ، فقد وضعوا غرفة ويلسون على مسافة من الهدف منبع الميزونات الحيادية (ان الجزئيات قد استبعدت بواسطة مغناطيس) بحيث لم يبق أيّ K°_1 . وعندها لاحظوا مع ذلك تفككات في K° ، انما كلها غير طبيعية .

	الجزئية	الكتلة	أسلوب التفكك	حياة وسطى	دوران ($\frac{h}{2\pi}$ بوحدات)	الوسيلة	سنة الاكتشاف
	μ	$207\ m_e$	$\mu^{\pm} \to e^{\pm} + 2\nu$	$2{,}2 . 10^{-6}$ s	$\frac{1}{2}$	غرفة ويلسون أشعة كونية	1938
	$\pi^{\pm}$	$273\ m_e$	$\pi^{\pm} \to \mu^{\pm} + \nu$	$2{,}6 . 10^{-8}$ s	0	مستحلبات فوتوغرافية أشعة كونية	1947
	π^0	$264\ m_e$	$\pi^0 \to 2\gamma$	$\sim 10^{-16}$ s	0	عدادات سنكروسيكلوترون بركلي	1949
ميزون K	K مشحونة	$967\ m_e$	$K_{\pi_3} \to \pi^{\pm} + \pi^{+} + \pi^{-}\ (\tau)$ $\to \pi^{\pm} + \pi^0 + \pi^0\ (\tau')$ $K_{\mu_2} \to \mu + \nu$ $K_{\pi_2} \to \pi + \pi^0$ $K_{\mu_3} \to \mu + \pi^0 + \nu$ $K_{e_3} \to e + \pi^0 + \nu$	$1{,}2 \times 10^{-8}$ s	0	مستحلبات فوتوغرافية أشعة كونية مثلها RC - غرفة ويلسون RC - مستحلبات RC - مستحلبات RC - مستحلبات	1949 1954 1956 1951 1951 1954
	K حيادية	$974\ m_e$	$K_1^0 \to \pi^{+} + \pi^{-}$ $\to \pi^0 + \pi^0$	10^{-10} s	0	RC - ويلسون عدادات كوسموترون بروكهافن	1951 (V_2^0) 1955
			$K_2^0 \to$ 3 جزئيات $\begin{pmatrix} e + \pi + \nu \\ \mu + \pi + \nu \\ \pi^{+} + \pi^{-} + \pi^0 \end{pmatrix}$	6×10^{-8} s	0	غرفة ويلسون كوسمترون بروكهافن	1956
هيبرون	Λ^0	$2\,183\ m_e$	$\Lambda^0 \to p + \pi^{-}$ $\to n + \pi^0$	$2{,}5 . 10^{-10}$ s	$\frac{1}{2}$	RC - ويلسون غرفة حبيبات كوسمترون	1951 (V_1^0) 1956
	Σ	$2\,328\ m_e$	$\Sigma^{+} \to p + \pi^0$ $\to n + \pi^{+}$	$\sim 10^{-10}$ s	$\frac{1}{2}$	غرفة ويلسون ومستحلبات فوتوغرافية أشعة كونية	1953
		$2\,341\ m_e$	$\Sigma^{-} \to n + \pi^{-}$	$1{,}6 . 10^{-10}$ s		غرفة بث ـ كوسمترون RC - ومستحلبات	1956
		$2\,332\ m_e$	$\Sigma^0 \to \Lambda^0 + \gamma$	$< 10^{-11}$ s		غرفة بث كوسمترون	1955
	Ξ	$2\,585\ m_e$	$\Xi^{-} \to \Lambda^0 + \pi^{-}$	$\sim 10^{-10}$ s	?	غرفة ويلسون أشعة كونية	1952
		$\sim 2\,570\ m_e$	$\Xi^0 \to \Lambda^0 + \pi^0$	$\sim 10^{-10}$ s	?	غرفة حبيبات بيفاترون بركلي	1959

ملاحظة : توجد أيضاً أساليب نادرة لتفكيك الهيبرونات إلى ثلاث جزئيات إحداها الكترون أو ميزون μ والأخر نترينو.

صورة 19 ـ جدول بالجزئيات الأوّلية الرئيسية .

في الوقت الحاضر ، تستمر دراسة الجزئيات الغريبة في المسرعات الكبرى ، وبوسائل قوية .

مضادات الجزئيات ـ بنية النكليونات ـ تنص نظرية ديراك ان لكل جزئية مضاداً لها . والجزئية ومضادها يجب أن يكون لهما نفس الكتلة ، ونفس الدوران (الغزل) وقيم متساوية ومتضادة من الشحنة الكهربائية والعزم المغناطيسي .

وقد تم الاثبات الاول سنة 1932 ، مع اكتشاف الالكترون الايجابي . وكان من المفيد ان نعرف ما إذا كانت نظرية ديراك أيضاً صالحة بالنسبة إلى البروتون ، وهذا ما كان الجميع يفترضونه . والبروتون المضاد أو البروتون السلبي ، كان قد استشف لعدة مرات في الاشعاع الكوني ، انما بدون تأكد . وفي سنة 1955 فقط ، أي بعد سنة من تشغيل البيفاترون في بركلي ، جرى التأكد من وجود البروتون المضاد من قبل سيغريه Segré وشمبرلين Chamberlain ومعاونيهما .

كانت التجربة يومئذ صعبة : ولم يكن معروفاً الا بروتون معاكس أو اثنان ، ضمن مليون من الجزئيات الطفيلية . في الوقت الحاضر ، تتيح الفاصلات الحصول على رزم شبه نقية من البروتونات المعاكسة . اربعة مسرعات فقط ، في العالم تستطيع خلق جزئيات معاكسة : بيفاترون بركلي في الولايات المتحدة ، فازوترون دوبنا في الاتحاد السوفياتي ، والسنكروترون العملاق في كل من بروكهافن وجنيف (C. E. R. N) .

ويُولد البروتون وعكسه زوجياً أثناء تفاعلات طاقة كبيرة جداً . وينعدم البروتون المعاكس الساكن مع النكليون ، وتزول طاقة كتلتهما بشكلي ميزون π و K . اثناء التحليق يستطيع البروتون المعاكس ان يحيد الشحنة في البروتون . ويتحول الى نترون معاكس : وهكذا تحقق انجاز النترون المعاكس بفضل بيكشيوني سنة 1956 في بركلي أيضاً .

وتم اكتشاف الجزئيات المضادة أو المعاكسة اليوم بدون تعجب . أما وقد ثبتت نظرية ديراك تماماً ، فقد أصبح من الممكن معرفة ما يطلب . لقد شهدت السنوات الأخيرة على التوالي : ظهور معاكس Λ^{0} في بركلي ، وقد اكتشف في المستحلبات الفوتوغرافية ، ثم معاكس Σ^{+} ، المرصود في روما في صفائح معروضة في البيفاترون ، ومعاكس Σ^{-} في دوبنا ، في غرفة حبيبات ، ومعاكس Σ^{0} في بركلي والمعاكس Ξ^{-} في (C. E. R. N) سويسرا وبروكهافن . وسوف تتيح المسرعات العظمى في بروكهافن وجنيف الآن اجراء دراسة كاملة تماماً لخصائص معاكسات الجزئيات .

وهناك فصل آخر مهم في فيزياء الطاقات العليا يهتم بالمسألة الاساسية مسألة بنية النكليونات (النويّات) . في الحسابات تعتبر النكليونات كجزئيات نقطية لها عزم زاو خاص او دوران ، وهذا بالتأكيد ليس الا تبسيطاً . ان كون النترون ، المفتقر إلى الشحنة ، مزوداً بعزم مغناطيسي يحمل على الافتراض بانه لا يمكن ان يتحول إلى مجرد نقطة جيومترية .

من وجهة نظر القوى النووية ، لا يفعل النكليون فعله الا وراء مسافة يمكن تعريفها بأنها

شعاعه . انما يجب أيضاً ان نميز توزيع شحنته بواسطة قذيفة مجرّدة من تفاعل نووي . انها حالة الالكترون ولكنه لا يكون مفيداً الا اذا كان طول موجته المضاف أخف من « أبعاد » النكليون ، أي الا إذا كان يمتلك طاقة تفوق بضع مئات من الـ (Mev) . وعندها يشبه البث النظري للالكترون بواسطة شحنة نُقَطِيَّة البث المرصود ، ونستخرج منه « عامل الشكل » ، أي توزيع الشحنة .

ان مثل هذه التجارب قد تمت منذ عدة سنوات على يد فريق ر . هوفستادتر R. Hofstadter الذي استخدم الكترونات الطاقة الكبرى في المسرِّع الخطّي ، مسرِّع ستاندفورد Standford وقد اقتضت هذه التجارب استخدام مطيافيات تتيح تحليل الالكترونات ذات الطاقات العالية . وهي تشير إلى « شعاع كهربائي » وسط النكليون الأدنى من شعاعه النووي .

ويمكن تفسير هذه النتائج بافتراض ان البروتون أو النترون ينفصلان جزئياً الى نكليون عارٍ والى غمامة من الميزونات π (ضمن بئر قوةٍ كامنة ، لا تستطيع الخروج منها بغياب تفاعل ما) .

ان هذه الدراسات تتوالى ، وستتيح من غير شك ذات يوم توضيح افكارنا حول طبيعة الجزئيات الاولية .

VI ـ التفاعلات الأولية ـ القوى النووية

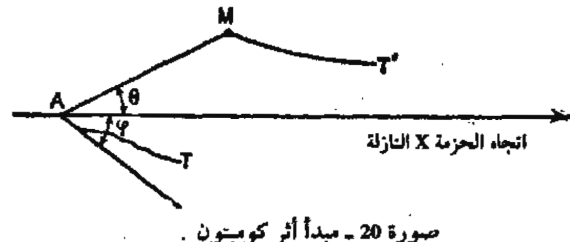
وجود الفوتونات ـ الآثار الضوئية الكهربائية وكومبتون (Compton) ـ اننا نعلم أي دور أساسي لعبه الاثر الضوئي الكهربائي ، في الاكتشاف غير المتوقع ، للصفة الجسيمية في الضوء على يد انشتين سنة 1905 (راجع حول هذه المسألة مداخلات ل . دي بروغلي في الفصل I من هذا القسم ، وب . مارزين ، وج . لومزك في الفصل السابق الفقرة II) .

وبدراسة قانون هذا الاثر ، بالنسبة إلى معدن ما ، نلاحظ ان البث يبدأ عند تواتر ضوئي عتبة ν_s خاص بكل معدن ؛ فاذا كان التواتر ν للضوء النازل يتجاوز ν_s ، فان الطاقة الحركية في الالكترونات المبثوثة تتناسب مع الفرق $(\nu - \nu_s)$ ؛ على ان يكون عامل التناسبية هو ثابتة بلانك (h) . وقد فسر انشتين قانون الاثر الضوئي الكهربائي بالوجود الدائم ، في الاشعاع ، لكميات (حزمات) (quanta) من الضوء ، تمتصها الالكترونات « الحرة » الموجودة في المعدن المشع ؛ وتسترلي هذه الالكترونات على الطاقة h_ν ، واذا تجاوزت هذه الكمية طاقة الاستخراج E_s ، فان الالكترونات قد تخرج بطاقة : $(E = h_\nu - E_s = h(\nu - \nu_s)$.

ان الامتصاص الآني لكمية ما من قبل الالكترون يقتضي أن تكون هذه الكمية ، لحظة الامتصاص ، متموضعة في الفضاء كما الالكترون ، من هنا مفهوم الجسيمات الضوئية أو الفوتون الذي ادخله انشتين .

وقد ثبت هذا المفهوم بشكل واضح بعد اكتشاف اثر كومبتون Compton سنة 1923 من قبل هـ . آ . كومبتون . هذا الاثر هو انتشار للاشعة السينية (X) مع تغيير للتواتر امكن رصده في بادىء الأمر ، بواسطة مُشع ذي وزنٍ خفيف ذرياً (الغرافيت والبارافين) ، مع تحديد التواترات بطريقة التشتيت البلوري للاشعة السينية . ان تغيير التواتر المقاس (او تنقل طول الموجة $\Delta\lambda$) يتعلق بالزاوية Θ ، زاوية البث أو الانتشار .

ووضع كومبتون وديبي Debye نظرية هذه الظاهرة مفترضين وجود ـ داخل الضمة النازلة ـ فوتونات سينية (X) ذات طاقة $h\nu$ وكمية الحركة (أو النبض) $h\nu/c = h/\lambda$ باعتبار ان $\nu = c/\lambda$ هي التواتر الموافق لطول الموجة λ ، وان c هي سرعة الضوء في الفراغ . ان هذه المعادلة أو العلاقة بين الطاقة والنبض هي التي تطلبها نظرية النسبية ، فيما خصّ جسيم سرعته c ، أي ذي كتلةٍ عدمٍ في حالة السكون .



صورة 20 ـ مبدأ أثر كومبتون .

هذان الفيزياثيان افترضا ان الصدمة يمكن ان تحدث بين واحدٍ من هذه الفوتونات وبين الكترون حرّ شبه ساكن (واهن الارتباط) في البثّاث ؛ ويقذف الالكترون بسرعة باتجاه ما فيشكل الزاوية φ مع اتجاه الفوتون النازل ، في حين ان هذا الاخير ينحرف بزاوية مقدارها Θ فيفقد قسماً من طاقته (وإذن من تواتره) المتعلّقة بـ Θ (الصورة 20) . ويكفي كتابة حفظ الطاقة والنبض الشاملين ، أثناء الصدمة للحصول على تنقل $\Delta\lambda$ المرصود ، وكذلك على φ وسرعة الالكترون تبعاً لـ Θ .

في بعض الحالات يمكن ان نرصد الالكترونات المقذوفة من البثاث ، ولكن كومبتون وسيمون استطاعا مباشرة رصد الظاهرة بفضل غرفة ولسون ، ثم التثبت بعدها من العلاقة المحسوبة بين Θ و φ .

الحقل الكهرمغناطيسي المكمّم ـ من أجل تفسير وجود رزم الضوء ، يكفي في أغلب الاحيان ، أن نفترض ، مع بلانك Planck ان الجزئيات « المادية » المشحونة هي ذات طاقة مكمّمة .

هذا المبدأ الذي وضعه نيلزبوهر سنة 1913 لتفسير بث الخطوط الذرية من قبل الالكترونات ، ومن جهة أخرى لتفسير ظروف التكمّيم (راجع أيضاً دراسة ل . دي بروغلي في الفصل الأوّل من هذا القسم) هذه النظرية القديمة حول الكنتا أو الكميات استبدلت حوالي سنة 1925 بالميكانيك الكانتي أو الذبذبي ، بفضل أعمال ل . بروغلي وشرودنجر وبفضل أعمال هيسنبرغ . افترض بروغلي ان مطلق موجة يجب ان تقترن بجزئية ، وافترض صحة العلاقتين أو المعادلتين ($E = h\nu$ و $p = h/\lambda$) ببين المقادير الميكانيكية (الطاقة E والنبضة p) بين الجزئية والكميات الحركية داخل الموجة .

وعثر شرودنجر على معادلة الانتشار الواجب توفرها في وظيفة الموجة ، عندما تخضع

الجزئية « غير النسبوية » إلى قوى معينة . هذه « الوظيفة للموجة » ليس لها تفسير فيزيائي باشر[1] ، بل تفسير احتمالي قدمه ماكس بورن وهو يتطابق مع استحالة تعريف مسار الجزئية على المستوى الميكروسكوبي : وهي علاقات اللايقين التي قال بها هيسنبرغ .

ان الشروط المفروضة على وظيفة الموجة تؤدي الى تكميم الطاقة عندما تشكل الجزئيات نظاماً مرتبطاً (الكترونات ونواة في الذرة مثلاً) . ومن جهة أخرى استلهم شرودنجر مبدأ التطابق الذي أعلنه ن . بوهر ، فاستطاع معالجة مسألة الاشعاع بخلال عملية انتقال .

وأضاف الى الاشعاع كميات كهربائية كلاسيكية متذبذبة عبر عنها بواسطة وظائف موجة حالتين : أساسية (E_1) ونهائية (E_2) ؛ ان هذه الكميات قد أدخلت في المعادلات الكلاسيكية التي وضعها ماكسويل بالنسبة إلى الحقل الكهرمغناطيسي ، وحصل ، ليس فقط على تواتر مبثوث بل أيضاً على الزخم وعلى الاستقطاب في الاشعاع .

إلاّ أن هذا التكميم للجزئيات « المادية » وحدها ليس مرضياً تماماً .

وهكذا يكون للالكترون غير المرتبط بالذرة (والذي يمتلك من وجهة نظر كلاسيكية ، سرعة تفوق « سرعة التحرر ») طاقة شاملة (حركية+ كمونية) ايجابية يمكن ان تتغير بشكل دائم . وعندما يكبح هذا الالكترون بوجود قوى كهربائية تدفعه ، فهو يبث اشعاعاً سينياً (X) يسمى اشعاع الكبح ، ويكون طيف تواتره متتابعاً . وهكذا أمكن الحصول على أشعة سينية بواسطة أنابيب ، بتوقيف الكترونات كاتودية على قطب المضاد للكاتود ، أو بواسطة بتاترون ، بالتوقيف عند هدف . في هذا الاشعاع توجد فوتونات من كل الطاقات $h\nu$ ، من شأنها احداث أثر ضوئي كهربائي أو ما يسمى كمبتون .

ثم في سنة 1928 تقريباً أخذ ديراك وجوردان وويغنر وهيسنبرغ وبولي يعالجون تكميم الحقل الكهرمغناطيسي .

وكما أنه يتم الانتقال من الميكانيك الكلاسيكي إلى الميكانيك الكمّي باقران كل مقدار كلاسيكي « عامل » يعمل على وظيفة الموجة ، رأى هؤلاء العلماء اعتبار الحقول « كعوامل » تؤثر في « وضع » متميز بعددٍ من الفوتونات في كل تواتر . وهكذا يتوافق مع كل حقل تواتري ν عامل يحطم الفوتون في هذا التواتر ؛ ويقترن هذا العامل الامتصاصي بعامل بثي . وفي حال غياب الجزئية المشحونة يتم الحصول على تطور « الوضع » بحاصل من هذين العاملين : الطاقة والنبضة تبقيان ثابتتين . وينتج من جبر العوامل موضع الدراسة (علاقات تنقلية) ان هذه الطاقة وهذا النبض يكمّمان بكمية $h\nu$ و h/λ . وبالعكس،اذاكان هناك انتقال لجزئية مشحونة ، فلا يرتسم الا عامل بثي (او امتصاصي) : ان الفوتون يبث أو يمتص ، وهذه العملية يمكن أن تتكرر . واحتمالية هذه

(1) وقد حاول بعض المنظرين حديثاً ومنهم ل . و . ي . بروغلي أن ينظروا ، على مستوى « فوق مجهري » ، الى موجة فيزيائية والى موضعة دقيقة للجزئيات المتطابقة ، ولكن هذا الرأي ، الذي يصطدم بالكثير من الصعوبات بقي عاجزاً عن مواجهة الواقع .

العملية تتناسب مع مربع الشحنة الأوّلية (e) للجزئية (الكترون ، بروتون ، الخ) ، أو بصورة أدق تتناسب مع ثابتة بدون حجم $(2\pi e^2)/hc = 1/137$ ، (وهي ثابتة ذات بنية دقيقة) . ان احتمالية العمليات المزدوجة هي أصغر بكثير ، اذ هي تتناسب مع : $(1/137)^2$ ، الخ . وهذا يتيح معالجة المسألة الكمية في تزاوج الحقل مع الجزئية المشحونة بفضل طريقة الاهتزاز .

وهكذا تم بناء نظرية تنبىء عن وجود فوتونات وتتيح أن نحسب بدقة احتماليات البث والامتصاص وكذلك احتساب كل الخصائص « الكلاسيكية » في الاشعاع (استقطاب ، الخ) ، في حال تكون عوامل الحقل متوافقة مع معادلات الحقول الكلاسيكية .

ولكن هذه الحقول لها دور في تفسير انتشار (ذي السرعة المتناهية) تفاعل قائم بين جزئيتين مشحونتين ، وهي سرعة متناهية تتطلبها نظرية « النسبية » . من الناحية الكلاسيكية يُبثّ حقل غير مشع (أي لا يحمل طاقة لمسافة بعيدة ، بعكس ما هو عليه حال الحقل المتأرجح المتذبذب ، حقل الاشعاع الكهرمغناطيسي) ، بواسطة إحدى الجزئيات ويؤثر في الآخر بعد الزمن اللازم للانتشار . في النظرية الكمية يتوافق مع هذا الحقل غير المشع فوتون « احتمالي خيالي » غير قابل للرصد ، مُتبادل بين الجزئيتين ، ينقل النبض من جزئية إلى أخرى بحيث يتم بث الجزئيات . وتصور هذه العملية في المخطط الوارد في الصورة 21 التالية أو ما يُسمى بخط « فينمان » Feynmann الذي يمثل فقط الترابط بين مختلف الجزئيات (وليس المسارات غير المحددة) .

نتصور عندها كيف أمكن لهذه النظرية « الكهرديناميكية الكمية » ان تنتقل إلى كل التفاعلات بين الجزئيات « المادية » . لكل تفاعل حقل كلاسيكي يوافقه وينشره أي له ، من ناحية التكميم جزئية محدّدة .

نظرية ديراك حول الالكترون والبوزيتون ـ نرى بالتالي ان مفاهيم « الحقل » ، من جهة ، و « الجزئيات المادية » من جهة أخرى ، تفقد وضوحها . ولكن ظهر في حوالي سنة 1927 ان « جزئيات الحقل » (الفوتون مثلاً) وحدها يمكن توليدها وتحطيمها اثناء العمليات الفيزيائية .

الواقع ، انه يوجد فرق آخر مهم جدا بين هاتين الفئتين من الجزئيات . فجزئيات الحقل ، المسماة « بوزون » تخضع لاحصاء بوز Bose ؛ وهي غير مرئية ، كما هو طبيعي بالنسبة إلى جزئيات متماثلة لا يمكن تتبع حركاتها على الصعيد المجهري ، ولكن يمكن ان يكون منها عدد ما في حالة معينة (فوتونات من ذات التواتر وذات الاتجاه الانتشاري مثلاً) .

بالمقابل تخضع « الجزئيات المادية » (الفرميون : الكترونات ، وبروتونات أو نترونات) لاحصاء فرمي ؛ انها غير مرئية ، ولا يمكن ان يكون منها اكثر من واحد في حالة معينة ، مما يفسر لماذا لا نستطيع قياس الحقل المجهري المطابق .

ترتبط هذه الفروقات بالدوران ، الذي يميز العزم الحركي الخاص بهذه الجزئيات .

يقال ان دوران الفوتون هو واحد عندما تُتخذ $(h/2\pi)$ كوحدة : ان قيمة اسقاط هذا السهم

على محور تكميمي Oz يمكن أن يكون (1,0 –) أو (1) بالنسبة إلى هذه الواحدة (الذروة 1) ؛ وهذا يتطابق مع دالةٍ أو تابعة لموجة مقترنة وسهمية (حقل كهربائي من ثلاثة مكونات) .

بالنسبة إلى الالكترون ، يكون الدوران نصفاً (1/2) : وقيمة الاسقاط « ناقص نصف » $\frac{1}{2}$ – أو « زائد نصف » $\frac{1}{2}$ + (ذروة 1/2) ؛ وهذا يتوافق مع دالة موجة مقترنة « دورانية » ذات مكونين (وليس من الممكن اعطاء صورة جيومترية عن هذا « الدائر أو الغازل » «Spineur» ، ولكن العلاقات التي تربط بين مكونات ضمن نظامين من المحاور مختلفين ، تبدو أبسط مما لو كانت بالنسبة لسهم . ان دالة الموجة بالذات ليس لها معنى « فيزيائي » ، خاصة اذا لم يوجد حقل مجهري قابل للقياس ومقترن) .

في حين تتألف جزئيات الدوران الكامل (او العدم) دائماً من بوزونات، تتألف جزئيات عزم الدوران النصفية (1/2 دوران كامل) من فرميونات . يجب ان نلاحظ انه من اجل تطبيق مبدأ الاستثناء (الذي جاء بولي بنصه سنة 1926 فيما يتعلق بهذه الجزئيات) ، يجب ان نعتبر كمتميز حالات لا تختلف الا من حيث اسقاط الدوران 1/2 — أو 1/2 + . ان كل الجزئيات التي تصنف « كدائمة » لها نصف دوران (الكترون ، بروتون ، الخ) وفضلاً عن ذلك انها القيمة نصف الكاملة المعروفة . بالنسبة إلى البوزون ، ان القيم الوحيدة للدوران الكاملة المعروفة هي صفر ، وواحد (متمثل بالفوتون فقط) .

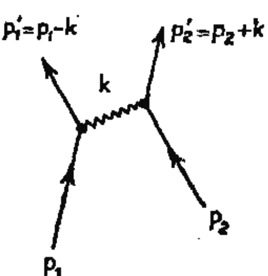
ان معادلة شرودنجر تنطبق على جزئيات محرومة من الدوران (دوران صفر) ، غير نسبوية . اشار بولي سنة 1926 ، إلى الشكل الذي يجب أن يكون لمعادلة الموجة فيما خص الجزئية ذات الدوران النصفي (1/2) غير النسبوية والموضوعة في حقل كهرمغناطيسي .

عثر ديراك سنة 1928 على معادلة الانتشار بالنسبة إلى جزئية نسبوية من الدوران النصف؛ ان دالة الموجة المقابلة لها بالضرورة أربعة مكونات . وتعطي المعادلة سلوك الالكترون في حقل كهرمغناطيسي دون ادخال ثابتة جديدة (بخلاف معادلة بولي) .

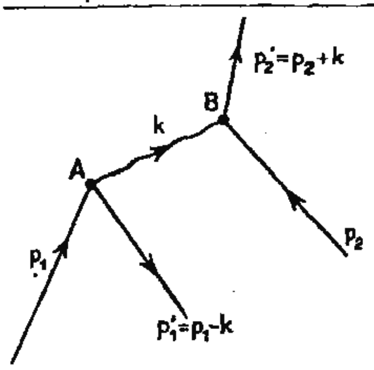
في حالة بولي ، قد تقترن المكونتان بحالتي الدوران الممكنتين ، في حالة ديراك ، قد يقترن الضرب بـ 2 لعدد المكونات ، بالواقعة التي مفادها ان طاقة الكترونٍ حرٍ (كتلة ساكنة + حركية) قد تُختار ايجابية أو سلبية . ان مثل حالة الكتلة السلبية ليس لها أي معنى فيزيائي الا انه تمكن اعادة تفسيرها في اطار نظرية الحقل الكمي الالكتروني ، أي النظرية التي تنظر إلى امكانية خلق أو تدمير الكترونات .

وتدمير الكترون ذي طاقة سلبية يفسر عندئذ ، وكأنه بث جزئية ذات طاقة ايجابية بمميزات جبرية هي مميزات الالكترون ، في حين ان كل المميزات الجبرية تكون مشحونة بالاشارة (شحنة ، نبضة ، دوران ، عزم مغناطيسي ، الخ) .

إنّ هذه الجزئية ذات الشحنة الإيجابية هي البوزيتون . وبالمقابل إنّ إيجاد الكترون ذي طاقة سلبية يفسّر وكأنّه تحطيم بوزيتون . إنّ هذا البوزيتون المضاد للالكترون ، قد اكتشف فعلاً من قبل اندرسون سنة 1932 في الاشعاع الكوني .



صورة 21 ـ مخطط فينمان . تمثل P_1 وP_2 النبضات الأساسية لالكترونين : P'_1 وP'_2 النبضات النهائية ، بعد تبادل الفوتون النظري المفترض ذي النبضة K .



صورة 22 ـ مخطط فينمان في حالة تفاعلية الالغاء والانعدام .

وإذا عدنا إلى مخطط فينمان (صورة 21) نرى ان الالكترون 1 الذي يبث الفوتون k يمكن ان يمر في حالة « ذات طاقة سلبية » ، وهذا ما يُصور بشكل مخطط (صورة 22) (وفيه تذهب الجزئيات ذات الطاقة الايجابية نحو الاعلى ، والجزئيات ذات الطاقة السلبية نحو الاسفل) . هذا المخطط يجب ان يعاد تفسيره هكذا : عند A ، يتعادم الالكترون P_1 مع بوزيتون ذي نبضة معاكسة لـ P'_1 محدثين الفوتون k ؛ وهذا الاخير يؤثر عند B على الالكترون P_2 . عندما يكون الفوتون « حقيقياً » (أي قابلاً للرصد)، فان طاقته يجب أن تكون على الاقل مساوية لمجموع الطاقات الساكنة المتحصلة من الجزئيات المدمرة ($2mc^2$) (باعتبار m كتلة ساكنة : كتلة الالكترون والبوزيتون) أي ما يعادل 1,02MeV .

رصدت عملية الالغاء سنة 1933 لاول مرة من قبل ف . جوليوت وج . تيبوه . وهي تقترن في أغلب الاحيان ببث فوتونين بطاقة mc^2 تؤمن حفظ الطاقة والنبضة ، حتى بدون تراجع النواة التي بها يرتبط الالكترون . وبالعكس قد يُحدث فوتون ذو طاقة أعلى من $2mc^2$ ، مار بالقرب من نواة ما ، زوجاً الكترون ـ بروتون : انّها عملية التجسيد المادي التي رصدها اندرسون وف . جوليوت وإ . جوليوت كوري ـ ونِدرماير Neddermeyer ، ول . ميتنر ، وك . فيليبس ، قبل الالغاء بقليل .

في كل العمليات المرصودة حتى الآن ، لا يكون الالكترون بالضرورة « دائماً » . وحده الفرق بين اعداد الالكترونات والبوزيتونات يبقى دائماً ثابتاً في هذه العمليات .

النظرية الكمية للحقول عامة ـ وهكذا قامت نظرية كمية لحقل مقترن بالالكترون والبوزيتون مع عاملات خلق (توليد) وامتصاص . ويترجم الفرق المهم جداً بين الفرميونات والبوزونات بخصائص تختلف جذرياً عن جبر هذه العاملات الجديدة . وقد عممت هذه المفاهيم .

أولاً ـ ان كل فرميون يتوافق بالضرورة مع فرميون مضاد ، ونفس الحقل يقترن بمجمل جزئيتين . وقد افترض شمول هذا القانون البوزونات . مع ذلك يمكن ان يتطابق مضاد الجزئية مع الجزئية إذا لم يكن لهذه الأخيرة أية خصوصية ذاتية جبرية (يمكن أن تتخذ الاشارتين المعاكستين) ، أي أية شحنة كهربائية . وهذه هي حال الفوتون .

ثانياً ـ ان نحن تجاوزنا المزاوجات بين حقول مختلفة ، فلا يوجد أي عملية بث أو امتصاص : فتبقى اعداد الجزئيات المختلفة ثابتة .

ومـع المزاوجـات ، يتعلق تطور مختلف الجزئيات ، بحـواصل عـوامـل مختلف الحقـول المقترنة ، مما يتسبب باستحداث وبامتصاصات بـالنسبة إلى هـذه الجزئيـات . ويتعلق تواتـر هذه العمليات بعامل هو « ثابتة المزاوجة » المماثلة للشحنة الأولية في الكهرديناميك الكمّي الذي يظهر في كل واحد من هذه المنتوجات . وتوجد ثابتات تزاوج بمقدار ما يوجد انماط من العمليات التي تختلف بحسب طبيعة الجزئيات .

ثالثاً ـ الا انه لا يمكن النظر الى أية عملية : أ) فالمعادلات تجب كتابتها بنفس الكيفية في كل أنظمة المحاور ، المستخرج بعضها من بعض بالتنقل . وينتج عن ذلك ، اوتوماتيكياً ، قوانين حفظ معتادة في الديناميك : حفظ الطاقة والنبضة ، وحفظ العزم الحركي الكامل . ويقتضي هذا الحفظ ان تبثّ الفرميونات أو تمتصّ أزواجاً أزواجاً ، بسبب خصائص العزم الحركي في الميكانيك الكمي : ان العزم الحركي المداري الذي ينضاف إلى الدوران ، هو دائماً كامل : بوحدات الـ $h/2\pi$. ويجب أن يكون للمعادلات نفس الشكل في كل الانظمة المتحركة بحركة واحدة بعضها تجاه بعض ، وفقاً لمبدأ النسبية الضيقة . وهذا يجر الديناميك النسبوي ، « أثر الرقاص » فوق أزمنة الجزئيات غير المستقرة المتحركة ، وكذلك يجر القاعدة المعروفة بـ PCT (انظر لاحقاً) .

ب) توجد مبادىء حفظ : حفظ الشحنة الكهربائية ، حفظ الباريونات أو الجزئيات الثقيلة (ويغنز ، 1953) . وليس من الممكن الحفاظ على مبادىء الحفظ منفصلة بالنسبة إلى كل نمط جزئية ومضاد الجزئية المقترن .

عُرِفَ منذ اكتشاف النترون سنة 1932 ، تفكك β :($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$) (1) ؛ في هذا التفاعل ، يتحول النترون إلى بروتون مع بث زوج من الفرميونات : الكترون ونوترينو من الدوران 1/2 وكتلة عدمٌ في حالة السكون .

وفيما بعد تمّ اكتشاف الهيبرونات ، الاكثر تزعزعاً من النترون (الحيوات الوسطية من عيار 10^{-10} من الثانية بدلاً من الف الثانية) ، والتي يمكنها أن تتحول الى نترونات وبروتونات .

في كـل العمليات المعـروفة يبقى عـدد الباريـونات (نتـرونات+ بـروتونـات+ هيبـرونات) المنقوص بعدد الباريونـات المضادة ، ثـابتاً . وتقبـل صحة شمـولية هـذا المبدأ الـذي يتوافق مـع استقرارية المادة بالمعنى الشائع مانعاً من تحقق تفاعلية مثل : ($p \rightarrow e^+e^-+e^+$) .

القُوى النووية ـ التفاعلات القوية ـ أولاً ـ كشفت دراسة النواة عن قوى من نمط آخر غير القوى الكهرمغناطيسية ، وبخاصة الكهرثابتة (الكهرستاتيك) التي تتحكم بالالكترونات الذرية . ان هذه القوى الجاذبة تفسر تماسك النترونات والبروتونات داخل النواة (رغم التدافع الكهرثـابت بين البروتونات) .

وبعكس ما هو الحال في القوى الكولومبية (الكهرثابتة) ، فمداها قصير جداً (من عيار 10^{-13} من السنتيمتر) فلا يحسُّ بها خارج النواة . وبالمقابل ، فانها اكبر زخماً : ان طاقة الالتحام الوسطي في النكليون (نترون أو بروتون) داخل النواة هي من عيار (10 MeV) ، في حين ان طاقة الالتحام في نترون ذري سطحي هي من عيار 10ev ، أي أقل وأضعف بمليون مرة .

وأدت الخصائص العامة في النوى (ثبوتية الثقل النوعي ، وطاقة الالتحام في النكليون) إلى الافتراض بأن لها بعضاً من خصائص الاشباع ؛ وانها ليست جاذبة الا بالنسبة إلى أزواج النكليونات في حالةٍ من الدوران النسبي .

وتم الحصول على معلومات أكثر تفصيلاً حول هذه القوة من خلال دراسة خصائص الدوتون ، وهي نواة مركبة انما الابسط ، وتتكون من بروتون ومن نترون . كما قدمت أيضاً دراسة الاصطدامات بروتون ـ بروتون ونترون ـ بروتون ، في مختلف مستويات الطاقة معلومات بهذا الشأن .

ثانياً ـ سنداً للمبادىء العامة في نظرية الحقول يجب أن يتوافق مع هذا الحقل من القوى الجديد بوزون جديد . وهناك علاقة بسيطة بين مدى القوة وكتلة الجزئية الوسيطة بحالة السكون ، ان هذه الكتلة يجب ان تساوي مئتي مرة الكتلة الالكترونية (فرضية الميزون ، يوكاوا ، 1935) . ولما كانت القوى النووية تمارس بين نيكلوين مطلقين يمكنهما تبادل شحنتيهما (وهذه خصوصية تتوافق مع الاشباع) ، ان هذه الجزئية يجب ان تتوجد باشكال مشحونة إيجاباً+ وسلباً- وحيادياً ، اشكال اكتشفت فعلاً فيما بعد (راجع الفقرة السابقة) .

ان ثابتة التزاوج ، بين حقول النوكليون والبيون يجب أن تكون كبيرة(تفاعل قوي) وهذا لا يتيح إستعمال طريقة الترجاف كما في الالكتروديناميك الكمي . ولهذا ، رغم كل جهود النظريين ، لم تتطور نظرية الحقل الميزوني (Mésique) ، مع النجاح الكمي الكبير الذي أصاب هذه الطريقة ؛ فالتفاعلية البسيطة ظاهرياً قد تشتمل على عدد كبير من المراحل الوسيطة ، والاحتمال يبقى من نفس المستوى مهما كان هذا العدد ، مثلاً تبادل عددٍ ما من البيونات الوهمية بين نيكلوين .

ثالثاً ـ لقد بدا ان القوى نترون ـ نترون ، وبروتون ـ بروتون ، ونترون ـ بروتون يجب أن تكون متماثلة بشكل محسوس . وان اعتمدت صحية هذه الخاصية ، فان القوى النووية تجهل الفرق بين النترون والبروتون ؛ ولكن في النواة ليس لنا ان نستبعد بروتوناً موجوداً بمثل حال النترون ، ويمكن القول ان الفرق الوحيد بينهما هو عدد كمي « داخلي » ذو قيمتين يُسمى « اسقاطاً » لدوران ايزوتوني (متماثل) أو اسقاط « الايزوسبين Isospin » تشبهاً بالدوران .

ولكن هذه الكمية لا تتطابق مع خصوصية زمنية مثل الدوران (Spin) ، وهي خصوصيةٌ تحول مكونات دالة [وظيفة] الموجة بواسطة تغير المحاور . ولا تبقي لها طبيعة عزم حركي ولا هي تنسجم معه . الا ان (الايزوسبين) تتراكب فيما بينها كتراكب العزوم الحركية ، ولها نفس الخواص الجبرية .

وبفعل ان القوى النووية لا ترتبط بالايزوسبين ، فان هذه تبقى ثابتة في كل التفاعلات المرتبطة بها . ومن خلال النظر في تبادل البيونات ، نرى ان هذه تتطابق مع الايزوسبين رقم واحد (1) ، وذلك بالتوافق مع الاشكال الثلاثة : π^+, π^o, π^- .

وبالمقابل تفرق القوى الكهرمغناطيسية بين قيم « اسقاط » الايزوسبين ، هذه القيم التي تتطابق أو تتوافق مع شحنات مختلفة . فكل قيمة من قيم الايزوسبين توافقها « مجموعة » من الحالات المرتبطة بمختلف القيم الممكنة التي يتخذها « اسقاطها » ، ويكون لهذه المجموعة شحنات كهربائية مختلفة ؛ وبالنسبة إلى النوى تتشكل مجموعات من متساويات الضغط وتصنف الهيبرونات أيضاً ضمن هذه المجموعات من الجزئيات التي لها نفس الكتلة المحسوسة ، بشكل نترون وبروتون . وينطبق هذا المفهوم على الباريونات وعلى الميزونين π و K ، وعلى كل الجزئيات التي تتزاوج حقولها بفعل التفاعلات القوية ، من ذات الصنف ، صنف نكليون ـ بيون ، وتحتفظ بالايزوسبين .

التفاعلات الضعيفة ، الانشطار β ـ هناك نمط آخر من التفاعل تكشف بفعل دراسة النوى ، هو التفاعل المطابق لبث المزدوج « الكترون ـ نوترينو » مع تحويل (1) النترون إلى بروتون ، في الانشطار

β^- . وكذلك نحصل في النواة على: $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ (2) وفيها تمثل ν عكس أو نقيض $\bar{\nu}$ الواردة في (1) .

وقد اكتشف وجود النوترينو من قبل بـولي Pauli سنة 1931 لتـوضيح حفظ الـطاقة ، والعـزم الحركي . وتعتبر كتلته في حالة السكون معدومة ككتلة الفوتون . وعرض فرمي نظريته سنة 1936 .

ويقتضي التوافق مع الحقب التجريبية ، هنا ثباتاً في التزاوج فيما بين الحقول المشتـركة في الجزئيات الاربع الموجودة في (1) وفي (2) ، ثباتاً أصغر بكثير من ثبات الالكتروديناميك (وهكذا تنتقل حقب الانتقالات الاكثر احتمالاً ، من عيار 10^{-10} ، من الثانية في γ إلى بعض الأيّام في β) . ثم ان حساب الاضطرابات يتم بسهولة ويمكن ان يقصر على التفاعلات الاكثر بساطة . ومن جهة أخرى ان المبادلات بين ازواج ($e - \nu$) لا تقدم أية قوة بين النكليونات قابلة للرصد عملياً .

ومع ذلك فقد اقتضى تحديد الشكل الدقيق للتفاعل العديد من الاعمال التجريبية والنظرية حول قواعد الانتقاء (علاقة الحياة الوسطى بتغير العزم الحركي في النواة عند الانتقال β) واشكال أطياف الطاقة في الالكترونات المطابقة لمختلف تبدلات العزم الحركي (خاصة منذ 1945) . وهذا الشكل لم يكن توضيحه تماماً الا بعد اقتراح قدمه ت . د . لي T. D. Lee وش . ن . يانغ C. N. Yang سنة 1957 حول تفاعل « غير ثابت بالتناظر الفضائي » ، بعكس التفاعلات الكهرمغناطيسية والنووية ، وهي فرضية اثبتتها حالاً تجربة ش . س . قو C. s. Wu ، حول نوى الكوبالت 60 الموجهة في درجة حرارة الهليوم السائل .

قاعدة P C T ـ نرمز بحرف P إلى عملية التناظر الفضائي بالنسبة إلى نقطة (معادلةٍ لدورانٍ من 180 درجة تقريباً ، لتناظر بالنسبة إلى سطح) ، ونرمز بحرف C إلى العملية التي تغير كل الجزئيات الموجودة فتحولها إلى عكسها ، ونرمز بحرف T إلى عملية « قلب الزمن » التي تغير اتجاهات كل النبضات (السرعات بالتعبير الكلاسيكي) ، كما تغيّر الامتصاص إلى بث ، وبالعكس (انظر الصورة رقم 23) .

ونلاحظ ان T تغير اشارات العزوم الحركية أما P فلا . ان اشارة عزم حركي ساقط على Oз باتجاه الدوران حول Oз ، و Oз لا تتغير الا من قبل T . و Oз هي عامودية على سطح الصورة .

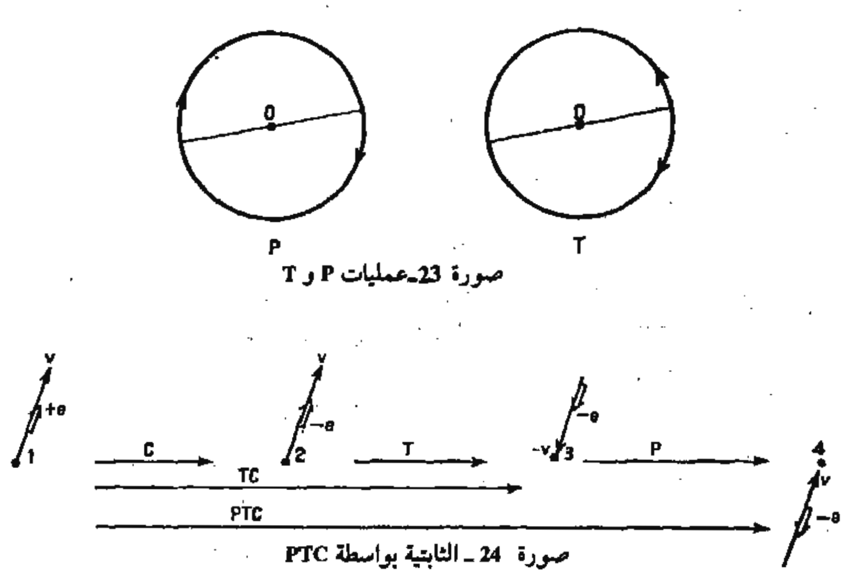
والمبـدأ المطروح بـالنسبة إلى عكس الجـزئيات يعني وجـود تكافؤ كـامـل بينَ التفـاعـلات المستخرجة الواحدة من الأخرى بفعل حاصل PTC في ثلاث عمليات .

وبالنسبة إلى التفاعلات المعقدة ، تغير T ترتيبها في الزمن ، وقد بين بولي ولودرس Lüdres ، كـل على حِدَة سنة 1956 ، ان الثبات عن طريق PTC ، يبقى دائماً محترماً مهما كانت التفـاعلات المناسبة للثابتية النسبية . والاكتشاف التجريبي لعكس البروتون ثم لعكس النيوترون سنة 1955 من قبل سيغريه Segré ، قد بعث بهذه الاعمال النظرية .

ثابتية P و C في التفاعلات الكهرمغناطيسية والقوية ـ ان معادلات الالكتروديناميك أو الكهرباء المتحركة تتغير بفعل P . وينتج عن ذلك ان أنظمة تناظرية يكون لها بالضرورة نفس الطاقة ، وان التفاعلات التناظرية هي أيضاً ممكنة .

في النظرية الكمية ينتج عنها قاعدة مهمة هي قاعدة « حفظ التكـافؤ » . ونبين انه اذا كـانت المعادلات هي ثابتة (P) ، فان حقلاً ما يمكن ان يضرب فقط بـ ± 1 عندما نجري تناظراً فضائياً .

وهكذا يقترن كل حقل « بتكافؤ داخلي » ، وبتكافؤ مداري ، في حالة حركة معينة من حالات الجزئية المحدثة أو الممتصّة . ويبقى حاصل تكافؤات كل الجزئيات الحاضرة ثابتاً .



صورة 23ـ عمليات P و T

صورة 24 ـ الثابتية بواسطة PTC

ان 1 هي عملية بث لبوزيتون له سرعة تبلغ V ـ واتجاه دورانه المسقط على V مشار اليه بالسهم المزدوج . وبتطبيق P,T,C نستخرج التفاعلات : 4,3,2,1 التي تقتضي وجود الكترون .

وهي ظاهراً لا تتغير بفعل C : كل الشحنات تتغير اشارتها (وكذلك المحقول) . وأخيراً تشكل T لا متغيرات ، كما هو حاصلٌ من التناظرات السابقة .

وكان يُظن حتى سنة 1957 ان كل الظاهرات الفيزيائية كانت لا متغيرة ولا تتغير كلٌ على حدة بفعل العمليات الثلاث . وتُظهر القوى النووية نفس اللاتغيرية . وبالمقابل ان التفاعلات الضعيفة قد انكشفت في سنة 1957 ، لا بشكل ثوابت P ولا بشكل ثوابت C . ان اللاتغير عن طريق P يجر وراءه عدم حفظ التكافؤ في العمليات المطابقة . في حين تتكاتف وتتوافق كل التجربات مع اللاتغير T واذاً مع اللاتغير PC . ان اللاتغير بفعل P يظهر بشكل بارز بالنسبة إلى النوترينو Neutrino المنبثق والذي لا ينوجد الا في حالة « يسار » من حالات التدويم المناقض للدفع ، كما أظهرت ذلك تجربة قام بها غولد هابر Goldhaber سنة 1958 . ان نقيض النوترينو لا ينوجد الا في حالة « يمين » .

التفاعلات الأخرى الضعيفة ـ تتفكك الجزئيات الأولية بتفاعلات ثابتة تزاوجها هي من نفس مرتبة ثابتة فرمي Fermi بالنسبة للتفكك β . وكل هذه التفاعلات لا تتغير بتغير P ولا بتغير C .

ومن الثابت أن الحالتين : نوترون وبروتون لا تتعادلان في (1) و (2) : مثل التفاعل

الكهرمغناطيسي لا تحتفظ هذه التفاعلات بالايزوسبين Isospin .

ومن المغري رد هذه التفاعلات إلى تفاعل واحد ، على الاقل كل التفاعلات بين 4 فرميون Fermion (تفاعل كوني قا به فرمي) . وللأسف لا يمكن اعتبار عمليات التفاعلات الضعيفه بمعزل عن التفاعلات القوية عندما تتفكك الجزئيات القوية (وهي جزئيات ذات تفاعلات قوية : باريونات وميزونات π أو K) .

ان استقلالية التفاعل الكهرمغناطيسي تُعزى إلى :

أولاً ـ ان ثابتة التزواج هي الشحنة الكهربائية الخاضعة لمبدأ حفظ .

ثانياً : ان المعادلات تتوافق مع « ثبوتية المعيار » المرتبطة أيضاً بكون الكتلة في حالة سكون الفوتون معدومة .

لا توجد خصائص متشابهة تماماً مع التفاعلات الضعيفة .

اللبتونات ـ توجد جزئيات ليس لها الا تفاعلات ضعيفة وكهرمغناطيسية : الالكترون والنوترينو والميون Muon (المسماة سابقاً ميزون μ) ذات الكتلة المساوية لِـ $200\ m_e$ مع ما قبها من مضادات الجزئيات .

بالنسبة إلى هذه الجزئيات لا يمكن إذاً تعريف الايزوسبين . وقد تم أيضاً تقديم مبدأ حفظ اللبتونات ($e^-, \mu^-, \bar{\nu}$ مثلاً اعتبرت كلبتونان واعتبرت e^+, μ^+, ν كمضادات للبتونات) المشابه لمبدأ حفظ الباريونات .

ويتفكك الميون إلى الكترون وإلى نوترينو مزدوج . وقد أثبتت تجربة جرت في بركلي سنة 1962 ان هذا الأخير ذو خصائص مختلفة وان أحدهما يجب أن يتّحد مع الالكترون والآخر مع الميون .

استنتاج حول التفاعلات ونظرية الحقول : ـ في اطار النظرية الكمية للحقول تظهر إذاً ثلاث مجموعات من التفاعلات متمايزة تماماً . والجدول التالي يبين ان التناظر العام يتناقص مع قوة التفاعل :

حفظ الايزوسبين	التناظر	التفاعلات
نعم	لا متغيرات بفعل P و C كلاً على حدة وبالتالي مع أو بفعل T	قوية
كلا (مع عدم اعتبار الايزوسبين الا بالنسبة إلى الجزئيات القوية)	لا متغيرات بفعل C,P كلاً على حدة وإذاً مع أو بفعل T	كهرمغناطيسية
كلا (ومشابه لما ورد اعلاه) .	لا متغيرات بفعل PC فقط وإذاً بفعل T	ضعيفة

يوجد تفاعل أضعف بكثير من التفاعلات الضعيفة : ان الانجذاب لا يظهر عملياً ، لهذا السبب ، على الصعيد الميكروسكوبي . فهل تدخل ضمن الرسيمة العامة للنظرية الكمية في الحقول أم انّها خاصة فقط هندسية يختص بها الفضاء ـ الزمن كما تزعم النسبية المعممة التي قال بها انشتين ؟ انها مسألة غير محلولة . فالجذب إن دخل في الاطار الكمي فهو ينتشر بفعل جزئية من دوامة 2 سُميت جاذباً Graviton . وكما هو الحال بالفوتون يجب ان يتلقى الجاذب فعل الجذب سنداً لمبادىء النسبية . ويجب ان يتزاوج الحقل مع نفسه : وهي معادلات غير خطية (كمعادلات انشتين) قلما يُعرف اتجاهها بواسطة عوامل الحقل[1] . يجب ان نلاحظ انه لم يتم اكتشاف موجة جاذبة يمكن قرنها بجواذب حقيقية .

انه من المرضي التوصل إلى تصنيف التفاعلات بين العديد من الجزئيات « الاولية » ، أملاً بتقليصها ربما إلى ثلاثة (أو أربعة) بما فيها الجذب .

ومع ذلك فقد أغفلنا العديد من الصعوبات العامة في النظرية . والشكل الاكثر كمالاً هو ما يسمّى بالالكتروديناميك الكمي . ففي هذا الاخير تؤدي التفاعلات ذات المستوى العالي ، في أغلب الاحيان إلى « كوارث فوق بنفسجية » (نتائج لا متناهية بسبب التدفقات العالية ، تدفقات الجزئيات الوسيطة) . انه فقط حوالي سنة 1946 تمت معرفة التغلب على هذه الصعوبة بعد اكتشاف مفعول « لامب » Lamb سنة 1945 . هذا الانفصال الضعيف جداً في مستويي ذرة الهيدروجين المختلطين بموجب نظرية ديراك ، امكن اكتشافه بواسطة تقنية امتصاص الموجات الهرتزية السنتمترية . . وقد فسر بيث «Bethe» هذا الفرق بأنه اختلاف مفاعيل الحقل الكهرمغناطيسي الخاص بالالكترون في حالة ربط وفي حالة حّرية . وكلٌ من هذه المفاعيل هو في الواقع لا متناه بالنسبة إلى الالكترون النّقطي . وباستخدام حسابات تحفظ في كل مرحلة اللاتغير النسبوي الذي طوره توموناغا Tomonaga ، ثم شوينجر Schwinger ، وفينمان ، أعطى ديزون Dyson نظرية متماسكة نوعاً ما تبرر هذه التنقيصات من الكميات اللامتناهية : وسميت هذه النظرية اعادة التسوية . وقد بسط فينمان أيضاً منهج الاضطراب حين عالج بحساب واحد خطوطاً بيانية مثل خطوط الصورتين (22) و (23) في العمليات الوسيطة . وأدت هذه التقنيات الحسابية إلى نتائج ذات دقة متناهية .

إلا أنه يبدو ان التناقضات ما تزال مستمرة في الكهرمغناطيسية (فتعقيدات العمليات الاكثر عمومية لا تسمح بالبت بها بيقين) وهي تناقضات لا تشوه النتائج الحاصلة من جراء تفاعل ضعيف نوعاً ما . ويمكن القول بمثل هذا أيضاً فيما خص التفاعلات القوية . وأخيراً ان هذه الاخيرة لا يمكن ان تُعالج كمياً ، الا بواسطة « موديلات » مبسطة تحتوي على فرضيات كيفية عشوائية ، متناقضة في أغلب الاحيان .

---

(1) وقد حاول هيسنبرغ منذ 1950 عدة مرات أن يصور كل العمليات بمثل هذا الحقل الوحيد . ولم يستطع حتى الآن أن يستخلص من هذه المعادلات غير الخطّية أي نتيجة أكيدة تتوافق مع الواقع .

وعلى العموم تقدمت الفيزياء النظرية عندما استطاعت أن توحّد التنبؤ والفهم بالنسبة إلى عدد كبير من الظاهرات ، وذلك بعد أن تُرجم هذا التوحيد بعدد قليل من الثابتات الاساسية .

وحتى الآن ، ومن الميكانيك الكلاسيكي النيوتني إلى الميكانيك الكمي ، تقدم هذا التوحيد على حساب الصفة « المحددة والملموسة » . وهذه الصفة المتزايدة التجريد والجبرنة (بعد أن احتفظت النسبية بصفة هندسية جيومترية) تأتت من البعد المتزايد عن المفاهيم المبسطة تبسيطاً يلائم العالم على مستوانا .

ان النظرية الكمية حول الحقول كانت مرحلة جديدة تصور بشكل افضل هذه الصفة الجبرية التجريدية . ولكن إذا اعترض نوع من توحيد التفاعلات ، فلا يمكن القول ان هذه النظرية تقدم الكثير من الوحدة وذلك بسبب الضخامة النسبية في عدد الجزئيات الاساسية ، التي لكل منها حقله الخاص . ويتوافق مع كل منها ثابتة واحدة على الاقل : كتلتها الخاصة . والنظرية المستقبلية يجب ان توحد أكثر فأكثر الجزئيات الاولية وتفاعلاتها . وهناك فكرة مغرية هي ان الكتلة الخاصة (او الطاقة الخاصة) في كل جزئية تتأتى من تفاعلها مع كل الجزئيات الأخرى . وهذا يتوافق مع كون الجزئيات « القوية » تمتلك الكتلات الاكثر ضخامة . الا ان الميون Muon يمتلك على ما يبدو نفس التفاعلات التي يمتلكها الالكترون ، ولكنه يمتلك كتلة قريبة من كتلة البيون Pion . وعلى كل لا تتيح النظرية الحالية تقديم أي تفسير للكتل الخاصة . ويؤمل انبثاق معلومات تجريبية ضرورية عن دراسة تفاعلات الطاقات الكبرى التي تتيح أيضاً استكشاف مناطق في الفضاء ذات اتساع متزايد الصغر .

الفصل الحادي عشر

الكيمياء

I ـ حالة الكيمياء في سنة 1900

في مطلع القرن العشرين عرفت الكيمياء فترة تطور زخيم . فالشكوك حول الأوزان الذرية وحول المعادلات ، وحول البنية الجزيئية والتصنيف قد زالت بعد منتصف القرن التاسع عشر بقليل بفضل العلماء كانيزارو Cannizzaro وكي كولي Kekulé ولوتارماير Lothar Meyer وورتز Wurtz ومندلييف Mendéléev . عرفت الكيمياء بعد ذلك تقدماً سريعاً ، في الإطار النظري كما في الإطار العملي . وأظهرت الكيمياء العضوية نشاطاً خاصاً ، ولكن في مطلع القرن اجتذبت الكيمياء الفيزيائية الانتباه بشكل خاص على أثر الأعمال التي تناولت المحاليل السائلة ، وتطبيق مبادىء الترموديناميك على الكيمياء . وكان لاكتشاف النشاط الاشعاعي في السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر تأثير عميق على النظرية الذرية ، ثم على مختلف قطاعات الكيمياء التجريبية والنظرية .

وأظهرت المجالات الأخرى في الكيمياء نشاطاً أقل . واستمر المتخصصون في الكيمياء المعدنية في اكتشاف عناصر جديدة ومركبات جديدة ولكن بحوثهم افتقرت إلى وجود نظرية عملية ومتماسكة حول الترابط الكيميائي . ان الكيمياء التحليلية تقدمت بشكل خاص بفضل أعمال باحثين في مجالات أخرى تخيلوا مناهج جديدة وسبلاً جديدة للمقاربة ، ذات علاقة بمشاكلهم الخاصة التجريبية والنظرية واستخدمت معدات مثل مقياس الاستقطاب ومقياس اللون والمطياف منذ عدة عقود . ولكن استخدامها ظل مقتصراً على الناحية العملية الخالصة .

وما ان خرجت الكيمياء البيولوجية من المرحلة الوصفية حتى احتفظت بصفتها الجمودية ، مهتمة بشكل متزايد بأنماط المركبات الموجودة في الأنسجة الحية أكثر من اهتمامها بوظائفها .

ومن ناحية تطور الكيمياء، يُمكن تقسيم القرن العشرين إلى حقبتين مختلفتي السمات تماماً. فحتى نهاية الحرب العالمية الأولى ظلت الكيمياء قريبة جداً من حالها الذي كانت عليه في أواخر القرن الماضي .

وبخلال هذين العقدين احتلت المانيا مركزاً مسيطراً في مجالات البحث ، والتعليم ،

والتطبيق العملي ، إلى درجة ان الدول المتحالفة أعيقت في جهودها من جراء تخلفها في هذا المجال .

وقضت ضرورات مرحلة الحرب العالمية الثانية ، وبسرعة ، بتغيير هذا الوضع ، واستمرت هذه الحركة بعد الحرب مما طوّر الكيمياء بقوة في مختلف أنحاء العالم .

وبخلال العقود الأربعة التي تلت الحرب العالمية الأولى تبنى البحث الكيميائي موقفاً أكثر حيوية فاهتم بالتحولات الكيميائية أكثر من اهتمامه بمشاكل التركيب ، رغم عدم اهمال هذه المشاكل . وأدت دراسات الكيمياء الاشعاعية والمطيافية إلى تطوير النظريات حول البنية الذرية ، مما أدى ، رغم تطورها المستمر ، إلى تأويل أكثر ارضاءً للظاهرات الفيزيائية والكيميائية . وانطلاقاً من هذه المفاهيم الذرية ، وضعت نظريات حول الترابط الكيميائي ، أمكن تطبيقها بنجاح مرض على أهم طبقات المواد الكيميائية المعدنية والعضوية .

وأدى تطبيق مختلف النظريات الفيزيائية ، مثل الترموديناميك والميكانيك الكمي والميكانيك الثابت على المسائل الكيميائية ، إلى حدوث تقدم مهم .

ولتتبع تطور الكيمياء في القرن العشرين من الضروري تفحص تطور فروعها الرئيسية . فهذه المجالات الخاصة ، بعد تحديدها تماماً منذ بداية القرن ، احتفظت بمواقعها رغم ان الاتجاه نحو التجزئة ، المتزايدة دائماً ، والأكيدة في القسم الأول من القرن ، قد ضعف قليلاً ، وفي منتصف القرن ظهر بوضوح ان مختلف فروع الكيمياء يمكن ان تستفيد من تبادل في الأفكار متقابل . ورغم ان تأهيل الكيميائيين استمر متميزاً بالتخصص الباكر والمعمق ، ظهرت بوادر تفهم واسع لأهمية البحوث المشتركة بين مختلف المجالات ، بحوث تستعين ليس فقط بمختلف فروع الكيمياء ، بل تستعين أيضاً بالرياضيات والفيزياء وبالبيولوجيا .

II - النشاط الاشعاعي وانعكاساته الكيميائية

1 - من العناصر المشعة إلى النظائر المشعة

النشاط الاشعاعي واكتشاف النظائر المشعة - في القرن العشرين تأثرت كل فروع الكيمياء باكتشاف النشاط الاشعاعي الذي توصل إليه هنري بيكيرل Henri Becquerel سنة 1896 . ولن نعود إلى هذا الاكتشاف ولا إلى اكتشاف البولونيوم والراديوم ، أو اكتشاف مختلف العناصر المشعة وما ينبثق عنها ، والتي سبق ذكرها في الفقرة الأولى من الفصل السابق .

ان عزل المواد الأخرى المشعة بخلال العقد الأول من القرن العشرين أكد الرأي الصادر سنة 1902 عن أ . روذرفورد ومفاده ان العناصر المختلفة المشعة تخضع لسلسلة من الانشطارات المؤدية إلى نتاج عناصر جديدة . ولكن بما انه من المستحيل غالباً فصل عنصر مشع بواسطة الكيمياء عندما يكون هذا العنصر ممتزجاً بعنصر معروف (الراديوم مع الرصاص مثلاً) حمل على الاعتقاد بأن الذرات المشعة يمكن أن تكون أشكالاً متنوعة مختلفة من عناصر معروفة تماماً .

وتبين بصورة تدريجية ان مختلف سلاسل الانشطارات المشعة تنتهي بتحول نهائي إلى ذرات من الرصاص . ولكن العديد من المراقبين لاحظوا ان الأوزان الذرية لآثار الرصاص الحاصل انطلاقاً من مختلف المصادر لا تتوافق فيما بينها . وفي المختبر في هارفارد الذي اشتهر في تحديد الأوزان الذرية فحص ت . و . ريتشاردس عينات من الرصاص منبثقة عن ركازات متنوعة مشعة وبين ان أوزانها الذرية تتراوح بين 206,4 و 208,4 ، في حين ان القيمة العادية هي 207,2 . وتم الحصول على نتائج مماثلة في مختبرات أوتوهونيشميدت وموريس كوري .

وكون بعض الأنواع المشعة لا يمكن فصلها عن عناصر عادية بيّن بصورة تدريجية انه ، خلافاً لأفكار دالتون ، ليست كل ذرات عنصر معين متماثلة فيما بينها . وفي سنة 1913 أطلق ف . سودي Soddy اسم نظائر مشعة على الذرات التي تحتل نفس المكان في الجدول الدوري وتمتلك نفس السلوك الكيميائي وان اختلفت قليلاً في خصائصها الفيزيائية . وأثبتت الأعمال التي جرت ابتداء من سنة 1919 بفضل فرانسيس آستون Aston وجود نظائر مشعة حتى في حالة وجود عناصر ثابتة مستقرة ، وهو أمر استبقه ج . ج . طومسون منذ 1913 (راجع الفقرة IV) .

اعداد واستخدام النظائر المشعة ـ عندما أثبت روذرفورد في تجاربه التي اجراها سنة 1919 تحول الأزوت إلى أوكسجين بتأثير من اطلاق جسيمات ألفا ، بُذل جهد خاص للحصول على تحولات أخرى . وبخلال العقد التالي عثر على تحولات وأعلن عنها ، ولكن انطلاقاً من الثلاثينيات أمكن تحقيق تجارب على مستوى كبير (راجع أيضاً دراسة م . لانجيفان ، الفقرة الثانية في الفصل السابق) . وساعد بناء مسرعات قوية للجزئيات حوالي سنة 1932 واكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي من قبل ا . جوليوت ـ كوري وف . جوليوت سنة 1934 على فتح حقبة جديدة في البحث الكيميائي بفضل ما قدمه هذا الاكتشاف وهذا البناء من أجل الحصول على نظائر مشعة قادرة لكي تستخدم من أجل وسم المواد الكيميائية وتتبع مسارها بخلال التفاعلات الكيميائية والبيولوجية والصناعية .

ووضعت التجارب الأولى التي تستخدم الراسمات المشعة ، بعد قليل من تاريخ توضيح مفهوم الايزوتوب من قبل جورج فون هيفسي Georg Von Hevesy ومن قبل ف . آ . بانت F. A. Paneth اللذين استعملا الراديوم لتحديد ذوبانية بعض أملاح الرصاص (1913) . في سنة 1918 استعمل بانت نظائر مشعة من الرصاص والبيسموت لدرس خصائص المركبات غير المستقرة في هذه العناصر . وفي سنة 1923 ، استعمل هيفسي الثوريوم B‏(^{212}Pb) لدرس تمثل الرصاص من قبل النباتات . الا ان استخدام مثل هذه الراسمات بقي محصوراً طالما لم يكن بالامكان استعمال الا النظائر المشعة بصورة طبيعية .

وتحسن هذا الوضع سنة 1935 عندما أمكن انتاج نظائر مشعة بصورة اصطناعية ، وبكميات صغيرة ، بفضل استخدام سيكلوترونات ومسرعات خطية ومصادر نيترونات تتيح قذف عناصر ثابتة بقذائف من البروتونات . واطلق هيفسي وو . شيوتز O. Chiewitz استخدام النظائر المشعة الصناعية في البيولوجيا حين درس تمثل الفوسفور 32 من قبل النباتات . والدراسات بواسطة

الراسمات تطورت بفضل توافر النظائر مثل السوديوم 24 والكبريت 35 والحديد 55 واليود 131 .

فضلاً عن ذلك قامت بحوث مهمة بواسطة نظائر مستقرة خاصة الدوتيريوم ، وهو نظير ثقيل من الهيدروجين اكتشف سنة 1932 من قبل هـ . أوري H. Urey . وفي سنة 1935 بدأ ر . شوونهيمر R. Schoenheimer دراسات حول عملية الأيض بالنسبة إلى الشحومات في الجسم الحيواني . قام شوونهيمر بتغذية جرذان بشحوم موسومة بالدوتيريوم ، ثم قتل هذه الحيوانات وحرق انسجتها وحدد كثافة بخار الماء الحاصل وذلك من أجل تحديد مكان الرسوبات وتحول الشحوم .

وقام شوونهيمر أيضاً بدراسة ايض الأزوت ، فوسم عدة أسيدات أمينية بواسطة آزوت 15 المستقر ، والفرق في الثقل بين هذا النظير والأزوت العادي ضعيف للغاية فلا يمكن اكتشافه بصورة مباشرة .

وامتد استعمال النظائر إلى الكيمياء وإلى البيولوجيا وإلى الطب وإلى الصناعة ثم بسرعة بخلال السنوات التالية خاصة بعد سنة 1945 عندما أمكن الحصول على نظائر مشعة من كثير من العناصر بواسطة قذفها بمواد خاصة بواسطة النيوترونات (أو النترونات) وذلك في المفاعلات النووية . وأتاح اكتشاف الكربون 14 تقديم نظير مشع من الكربون الذي رغم حياته الوسطى البالغة 5760 سنة ورغم ضعف اشعاعه فقد أتاح القيام ببحوث تتبعية تتعلق بالهندسة البنائية الفحمية في المركبات العضوية (أنظر الفقرة الرابعة من هذا الفصل) .

2 ـ بنية الذرة :

التثبت من حقيقة البنية الذرية ـ منذ مطلع القرن كان من المؤكد ان ذرات مختلف العناصر قد يكون لها مكونات مشتركة . وبخلال العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر أدت دراسة التوصيلية الكهربائية في الغازات إلى اكتشاف أشعة موجبة ، وبث الكترونات . ونحن نعرف (راجع بهذا الشأن دراسة ب . مارسين وج . ميزك في الفقرة I من الفصل IX) انه في سنة 1897 قام ج . ج . طومسون بتبيين ان الأشعة الكاتودية في الأنابيب ذات التفريغ مكونة من جسيمات خفيفة جداً شبّه شحنتها السلبية بالشحنة التي يحملها ايون وحيد الطرف اثناء التحليل الكهربائي . وأدت القياسات متزايدة الدقة التي أجريت على الشحنة e والنسبة بين الشحنة والكتلة e/m للالكترون ، إلى تثبيت m في حوالي $\frac{1}{1845}$ من كتلة ذرة الهيدروجين .

منذ بداية القرن جوت محاولات مختلفة لوضع نظرية بنيوية حول الذرة . وابتكر ب . لينارد سنة 1903 الفكرة بأن الذرة تتكون من جمع من « الديناميد » ، وهي أشكال من الأقطاب المزدوجة المادية المحصورة ضمن غلاف جامد ، واقترح الفيزيائي الياباني هـ . ناغاووكا نموذجاً زحلياً : كرة موجبة محاطة بهالة من الالكترونات . وفي سنة 1904 اقترح ج . ج . طومسون نموذجاً كروياً موحداً في إيجابيته وفيه الكترونات مندمجة . وطرح العديد من الفرضيات بخلال السنوات التالية ولكنها لم تؤد إلى نموذج مرض .

انطلاقاً من هذه التجارب التي قام بها روذرفورد حول تشتت الجزئيات الفا بواسطة الغازات وبواسطة أوراق معدنية رقيقة ، اقترح سنة 1911 نموذج ذرة كوكبية تتمركز فيه الكتلة والشحنة الموجبة داخل نواة لطيفة محاطة بالكترونات تدور حول مسافة كبيرة نسبياً .

العدد الذري ـ بخلال العقد الأول من هذا القرن حاول ج . ج . طومسون وش . ج . باركلا ان يقيما عدد الالكترونات الموجود داخل الذرة . ولكنهما لم يحصلا على نتيجة مقنعة . وارتكز روذرفورد على تجارب تشتت أشعة ألفا التي تحققت في مختبره فاطلق الفكرة لكرة شحنة نووية تعادل تقريباً نصف الوزن الذري للعنصر مفترضاً تساوي عدد الالكترونات التي تدور حول النواة .

وأمكن حل الاشكال المتعلق بشحنة النواة، سنة 1913، بفضل التجارب حول الأشعة السينية التي حققها هنري ج . ج . موزلي (1887 - 1915) . استخدم هذا الأخير عناصر متنوعة كأنتيكاتود في أنبوب ذي أشعة سينية (اكس) ، ولاحظ ان طول الموجة في خطين رئيسيين من أشعة سينية صادرة عن هذا الانتيكاتود يتعلق بالعنصر المستعمل ، وبدت العناصر الأثقل تتوافق مع أطوال موجة أقصر . وبدا ان الجذور التربيعية لهذه التواترات التمييزية هي دالات خطية تدل على أرقام هذه العناصر في التصنيف الدوري الذي وضعه مندلييف . مما بيّن ان الاعداد الذرية كانت أكثر من مجرد أرقام تراتبية داخل هذا الجدول . وأثبتت دراسة موزلي التي تناولت 39 عنصراً ترتيب هذه العناصر ضمن الجدول الدولي كما أثبتت وجود ثغرات تتوافق مع الأرقام 43 و 61 و 75 . واستخدمت تقنية أشعة اكس عند موزلي كأساس لاكتشافات الهافنيوم (72) والرينيوم (75) (أنظر الفقرة 7) .

نظرية بوهر ـ كانت الذرة التي قدمها روذرفورد مشوبة بعيب حقيقي . فسنداً لنظرية مكسويل الكهرمغناطيسية ، يجب ان يخسر الالكترون الدائر طاقة بشكل اشعاعات ، ولهذا يجب أن يتحرك بشكل حلزوني نحو النواة ومن المعلوم ان الفيزيائي الشاب الدانمركي نيلس بوهر قد توصل إلى تفسير بنية ذرة الهيدروجين وفقاً لنظرية الكانتا .

وزعم ان الالكترون الواحد لا يمكنه ان يرسم الا بعض المدرات المتاحة وانه لا يُصدر أي اشعاع طالما هو باقٍ على مثل هذا المدار . وبالمقابل ، كل امتصاص للطاقة يقترن عند انتقاله بمدار آخر متاح ، مطابق لمستوى من الطاقة أعلى ، في حين ان كل بث للطاقة يقترن منذ هبوطه بمدار داخلي ، مطابقٍ لمستوى أضعف من الطاقة .

هكذا فسر بوهر الخطوط المميزة لطيف الهيدروجين المثبتة بالقانون الرياضي المسمى بقانون ريدبرغ Rydberg المحصول عليه بناء على قواعد تجريبية سنة 1890 واستطاع أيضاً ، وبنجاح نسبي ، تطبيق نهج مماثل لمناهج أخرى ، على الكترون ما ، مثل الأيونات Li^{++} و He^{++} و Be^{+++} وعلى المعادن القلوية حيث تستطيع النواة والطبقات المشبعة بالالكترونات الداخلية ، ان تعتبر كمركز مزود بشحنة ايجابية أحادية ، على ان يعامل الالكترون الجانبي الطرفي الوحيد كالكترون ذرة الهيدروجين . وبالمقابل ، أثارت دراسة الأنظمة ذات الالكترونات المتعددة مصاعب

كثيرة اقتضت اصلاحاً لنظرية بوهر سرعان ما بدا ضروريا .

في سنة 1915 ، ادخل آ . سومرفلد A. Sommerfled في المانيا وو . ويلسون في انكلترا استعمال المدارات الاهليلجية . ولكن في السنوات التي تلت الحرب العالمية الأولى ، أصبحت النظرية الذرية موضوع مراجعات أكثر عمقاً (راجع الفصل I من هذا القسم) . ونحن سنكتفي بالتذكير بخلق الميكانيك التذبذبي على يدل . بروغلي L. de Broglie (1924) ثمّ صياغته على يدي . شرودنجر E. Schrödinger (1925) ، وادخال ميكانيك المصفوفات أو القوالب (Matrices) وصياغة مبدأ اللايقين على يد و . هيسنبرغ W. Heisenberg (1925 و 1926) ، وصياغة مبدأ الاستبعاد d'exclusion على يد و . بولي W. Pauli (1925) ، وداخال مفهوم الدوامة Spin على يد اوهلنبك Uhlenbeck وغودسميت Goudsmit (1925) وعرض نظرية الكترون ديراك Dirac (1929) .

وتوضح تدريجياً ان الالكترونات كانت موزعة في سلسلة من مستويات الطاقة . وان المستويات المتتالية تتضمن عدداً أقصى من 2 ، 8 ، 18 ، 32 الكتروناً . والكترونات الطبقة الثانية والثالثة والرابعة ليست في نفس الحالة من الطاقة ؛ وان حالة كل منها يجب ان تحدد بواسطة أربعة أعداد كمية ، وان مبدأ الاستبعاد يؤكد ان الكترونين في ذرة ما لا يمكن ان يمتلكا نفس مجموعة الاعداد الكمية . فضلاً عن ذلك ، ان تبني مبدأ اللايقين يؤدي إلى التخلّي عن المدارات الدقيقة التي وضعها بوهر Bohr من أجل النظر إلى المدارات ذات الثلاثة أبعاد ، وهي مناطق تحيط بالنواة وفيها يبدو الالكترون الممتلك لمجمل معين من الاعداد الكمية ، واجب الوجود وباحتمالية كبيرة جداً .

الارتباط الكيميائي ـ رغم ان المفاهيم الجديدة حول بنية الذرة ذات طبيعة أساساً فيزيائية فانها قد طبقت بسرعة في الكيمياء ، خاصة فيما يتعلق بموضوع الارتباط الكيمائي . فعقب 1916 أخذت الرسيمات الالكترونية تلعب دوراً مهماً في المناقشات حول الطبيعة الكيميائية . فقام و . كوسل W. Kossel في المانيا وج . ن . لويس G. N. Lewis وأ . لانغموير I. Langmuir في الولايات المتحدة بجذب الانتباه إلى الاستقرارية الاستثنائية في الطبقة الطرفية ذات الثمانية الكترونات في ذرات الغازات النادرة : نيون ، ارغون ، كريبتون وزينون . وظن يومئذ ان الذرات المعدنية يمكن أن تولد مثل هذه التشكلات وذلك بطرد الكتروناتها الطرفية ، وكذلك بالنسبة إلى الذرات غير المعدنية عن طريق أسر الكترونات مكملة . وأدى هذا التحول إلى ايونات مشحونة إيجاباً في الحالة الأولى ، وإلى أيونات مشحونة سلباً في الحالة الثانية ، أما الأيونات ذات الشحنة المضادة فإنها تستطيع عندئذ ان تجذب احداها الأخرى لتشكل اتصالاً مستقراً . وتفسر هذه النظرية تشكل الاصلاح ، ولكنها تنبيء أيضاً عن وجود أيونات في المحلولات ، وهي مسألة بقيت غامضة نوعاً ما ، منذ ان صاغ ارهنيوس Arrhenius ، سنة 1886 ، نظرية التأيين .

وطور لويس Lewis أيضاً نظرية « مزدوجات الالكترونات » لكي يفسّر تركيب الذرات غير المعدنية . إنّ الارتباط بواسطة « مزدوجات الالكترونات » في المركبات التشاركية اتخذ معنى أوضح ، عندما بيّن سنة 1925 الفيزيائيان النيرلنديان ج . ي . اوهلنبك G. E. Uhlenbeck وصموئيل غودسميت S. Goudsmit ان بعض الخصائص في الذرة يمكن ان تفسر بافتراض ان الالكترونات تدول حول محورها . وبما ان هذا التمحور (Spin) يمكن أن يتم ضمن نفس الاتجاه

أو باتجاه معاكس لدورانها في مدارها ، فان زوجاً من الالكترونات المتمحورة باتجاه معاكس يمكن ان يكافيء احدها الآخر من حيث التأثير . وبينت دراسات لاحقة ان المدار المحدد لذرة ما يمتليء عندما تحتله ذرتان متعارضتا التدويم أو الدوران ، مما يشكل شرطاً في الاستقرار الأقصى . ونجح ج . ن . لويس في اقران نظرية طواعية المغناطيسية المسايرة ونظرية الالوان بوجود الكترونات غير مقترنة .

وأثناء أعمالهما الأولى حول الارتباط الكيميائي ، لجأ لويس ولانغموير إلى نماذج مكعبة جامدة . ثم استبدلت هذه المكعبات فيما بعد بتأويلات أكثر رهافة ، ولكن الثمانية octet المستقرة والارتباط بواسطة المزدوج الالكتروني لعبا دوراً مفيداً جداً في وضع نماذج جزيئية .

ان مفهوم التشارك Covalence البسيط بدا غير كافٍ للدلالة على ارتباطات العناصر في العديد من المركبات ، ولكن توسيعه أتاح التغلب على بعض هذه الصعوبات . ان مفهوم الارتباط التوافقي Liaison de Coordinance أدخل من أجل الارتباط التي يكون فيه الكترونا المزدوج المقسوم ناجمين عن ذرة واحدة ، في حين ان الذرة الأخرى يلتصق فيها فقط من أجل اكمال طبقته الطرفية من الالكترونات ليجعل منها ثمانية مستقرة . ولعب الانكليزي ج . ن . سيدويك J. N. Sidgwick دوراً مهماً في صياغة هذه الأفكار (أنظر الفقرة V) .

وبعد أن أدخل شرودنجر Schrodinger معادلته الشهيرة التي تعبر عن حركة الالكترونات ، تم اقتراح ثلاثة مناهج بآن واحد من أجل تقديم حل قريب لهذه المعادلة في حالة الجزيئات .

وفسر و . هايتلر W. Heitler وف . لندن F. London الارتباط الكيميائي في جزيء الهيدروجين بواسطة الميكانيك الكمي . ان هذه النظرية حول ارتباط التكافؤ (أنظر الفقرة V) سرعان ما وسّعت لتشمل جزيئات أكثر تعقيداً على يد لينوس بولنغ Linus Pauling وج . ك سلاتر J. C. Slater وماكس بورن Max Born وهـ . ويل H. Weyl الخ .

ان التقنية الثانية ، تقنية المداورات الجزيئية (طاقة ودالة موجة كل الكترون) طورها ف . هوند F. Hund ور . س موليكن R. S. Mulliken وج . ي . لينار ـ جونس J. E. Lennard-Jones (أنظر الفقرة V) .

وطورت المنهجية الثالثة ، نظرية الحقل المتبلر أو Ligand field ، على يد هانس بث H. Bethe وهـ . آ . كريمرس Kremers وج . هـ . فان فلك Van Vleck . وتعتبر هذه النظرية المجمعات المعقدة Complexes كأنظمة الكتروستاتية (كهربائية ثابتة) بسيطة نسبياً ، مكونة من شحنات نقاطية ومن مزدوجات القطب dipôles . ان الطاقات الكامنة من مختلف أنماط التفاعل بين الذرات أو مجموعات الذرات تعالج بواسطة الالكتروستاتيك (الكهرباء الثابتة) الكلاسيكي .

رغم ان فان فلك Van Vleck قد بيّن سنة 1935 انه في التحليل الأخير ، تبدو هذه التأويلات الثلاثة متكافئة ، فان هذه التأويلات عرفت نجاحاً لا نظير له من جانب الكيميائيين والفيزيائيين . وفيما بين 1930 و 1940 عرفت نظرية ارتباط التكافؤ Liaison de Valence ، قبولاً كبيراً لدى الكيميائيين . الا ان بعض الكيميائيين العضويين استعملوا أيضاً المداورات الجزيئية Orbitales

وهي طريقة مفضلة عموماً في دراسة كيمياء وفيزياء الحالة الجامدة . وحدهم المتخصصون في المغناطيسية اقروا بأهمية نظرية الحقل البلوري . وبعد سنة 1945 ، وبفضل الدراسة الأكثر اهتماماً بالحالات الالكترونية المحثوثة بالجزيئيات ، عرفت نظريات المداورات الجزيئية والحقل البلوري نجاحاً أوسع . في الكيمياء التعدينية ، حيث كانت نظرية ارتباط التكافؤ خصبة جداً بمقدار ما تركز الاهتمام على الحالات الالكترونية ذات الأساس الجزيئي ، كشفت الدراسات المطيافية أن هذه النظرية لا يمكنها ان تنبىء عن الحالات المحثوثة في مركبات التوافق .

III ـ الكيمياء الفيزيائية

1 ـ المنشأ ، والتطورات الأولى

رغم ان الخصائص الفيزيائية في المواد الكيميائية قدر درست منذ أكثر من قرن ، فانه حوالي أواخر القرن التاسع عشر فقط أخذت الكيمياء الفيزيائية تتكون بشكل مجال علمي خاص . وتطبيق مبادىء الحرارة المتحركة (ترموديناميك) على الأنظمة الكيميائية لم يتقدم الا ببطء رغم ان هورستمان Horstmann وجيبس Gibbs قد اهتما بها بخلال العقود الثلاثة الأخيرة من القرن . ان أعمال مارسلين برتيلوت Marcelin Berthelot وجوليوس تومسن Julius Thomsen حول حرارة التفاعلات قد فهمت بشكل أسهل ، ولكنها لم تسمح بالوصول إلى الترابط المرتقب مع « عمليات التآلف» Les affinités . واعتبرت دراسات راولت Raoult وارهنيوس Arrhenius حول خصائص المحاليل الرخوة وحول التشابه Similitude الذي قرره فانت هوف Vant Hoff بين هذه الخصائص ، وقوانين الغازات ، العوامل الأساسية التي أدّت إلى دراسة نظرية للأنظمة الكيميائية . واعتبر تأسيس ويلهلم اوستولد Wilhelm Ostwald سنة 1887 ، لمركز Zeitschrisft fur Physikalis-cheChemie ، في أغلب الأحيان ، كنقطة انطلاق للكيمياء الفيزيائية كمجال علمي مستقل .

ومنذ ما قبل بداية القرن العشرين عرف هذا المجال العلمي تطورات مهمة ، خاصة بفضل البحوث التي جرت في مختبر اوستولد في ليبزيغ ، وبفضل قيام عدة تلاميذ من تلامذة الكيميائي الالماني ، بتأسيس مراكز بحوث جديدة . ولم يكن بعض العلماء يتوقع هذه النهضة الا بنوع من الحذر ولكن شكوكهم قلما كان لها من أثر الا الحض على بحوث جديدة مخصصة للرد على انتقاداتهم .

2 ـ الترموديناميك الكيميائي

التطبيقات الأولى ـ انطلاقاً من اللحظة التي تم فيها تطبيق القانون الثاني من قوانين الترموديناميك من قبل آ . هورستمان A. Horstmann على ظاهرة الفصل (1873) dissociation ، تقدم التأويل الترموديناميكي للتفاعلات الكيميائية بشكل بطيء . في الفترة 1884-1886 عمم فانت هوف Vant Hoff نهج هورستمان حتى يستطيع تطبيقه على التوازنات الكيميائية حيث تتدخل غازات ومحلولات رخوة .

واعتبر عمل فانت هوف Van't Hoff مرتبطاً بالمنهج الرياضي الذي طوّره ويلارد جيبس J. Willard Gibbs وهـ . هلمهولتز H. Helmholtz ، وأدّى هذا العمل إلى أسلوب فعال لدراسة حرارات التفاعل ، ولدراسة درجات الحرارة والتوازنات . وطبقت هذه الطريقة على حالة الغازات من قبل فريتز هابر Fritz Haber (1868-1934) الذي عرض النتائج الحاصلة في كتابه « الترموديناميك في تقنية الغازات » سنة 1905 .

القانون الثالث في الترموديناميك ـ ان بعض الصعوبات الموجودة في استعمال المعادلات الترموديناميكية ، قد تم التغلب عليها بفضل ولتر نرنست Walter Nernst الذي صاغ الفكرة القائلة بأن القصور الحراري Entropie في مادة متبلّرة نقية هولا شيء في درجة الحرارة 0 °K . لم ينجح نرنست في تقديم برهان مقنع عليها ، ولكن نظرته بدت قابلة للتطبيق الواسع . ان هذه الطريقة المسماة المبدأ الثالث في الترموديناميك ، قد أتاحت دراسة التوازنات الكيميائية بواسطة الحساب ، باستعمال بعض الثوابت الفيزيائية ، مثل حرارة الاحتراق ، والحرارت النوعية الذاتية ، وحرارات الانتقال ، الخ .

الا ان تطبيق هذا القانون كشف بسرعة عدم دقة المعطيات الفيزيائية المتعلقة بالعناصر وبالمركبات الفيزيائية . وفي مطلع القرن العشرين قامت أيضاً جهود واسعة من أجل تحسين التحديد التجريبي لهذه الثوابت الفيزيائية . وكان هذا الجهد ، المخصص لتقديم معطيات واضحة نوعاً ما ، من أجل احتياجات الترموديناميك ، قد أدى إلى تحسين العديد من الأدوات وإلى وضع مناهج جديدة .

التأثير من وجهة النظر الكهرديناميكية ـ ان المعالجة الترموديناميكية لمشاكل التوازن كان لها وقع وصدى . وعملت على تقدّم كل فروع الكيمياء . وقام نرنست وج .ن. لويس، بشكل خاص بتطبيق الترموديناميك على دراسة البطاريات الكهركيميائية . وفي الكيمياء التحليلية ، أتاحت وجهة النظر الترموديناميكية وضع الأسس الأولى القوية لدراسة تفاعلات التسارع ، وتفسير التوازنات بين « القاعدات » (Les bases) وبين الحوامض (Les acides) الضعيفة ، وخاصة ، نظرية الدلائل الملونة . وتلقت فروع أخرى من الكيمياء أيضاً تأثير الترموديناميك . ويعتبر نشر كتاب ج . ن . لويس وح . راندال M. Randall سنة 1924 وعنوانه « الترموديناميك والطاقة الحرة في المواد الكيميائية » مرحلة مهمة في هذا السبيل .

وطبق القانون الجديد سريعاً على مسائل متنوعة جداً .

لقد استخدم نرنست هذا القانون لحساب درجة الحرارة في انتقال الكبريت المعيّني وأحادي الميل انطلاقاً من الحرارة الذاتية النوعية ومن حرارة التحول ضمن الحجم الثابت . وقام ج . ت . بايكر J. T. Baker بحساب درجة الحرارة في ذوبان الأملاح البسيط ، في حين درمس ج . طومسن تمييه الاملاح . وأتاحت أعمال أخرى تطبيق هذا القانون على أنظمة متجانسة ومتفارقة متنوعة ، وكذلك على القوة الكهربائية المحركة الموجودة في بطاريات فولتا .

ونجح هابر في تطبيق مبادىء التوازن على تفاعل تركيب الأمونياك انطلاقاً من الهيدروجين

والأزوت . ووضع كارل بوش أسلوباً للصناعة التجارية لصالح منشآت باديش آنيلين Badische Anilin وصودا فابريك . واستخدم هذا النجاح الأول ، على المستوى الكبير المرتكز على استخدام الترموديناميك الكيميائي كمثل من أجل تطبيقات أخرى كثيرة حققتها الصناعة الكيميائية ، وخاصة الصناعة البترولية .

وبخلال العقد الأخير من القرن التاسع عشر ، تركز الاهتمام من أجل الحصول على درجات حرارة منخفضة جداً ، ولعبت مبادىء الترموديناميك دوراً أساسياً في تحسين مناهج تسييل الغازات .

وتم تسييل الهيدروجين الذي كانت درجة غليانه عند الدرجة 22°K ، سنة 1898 على يد جامس ديوار James Dewar ، قد جرى تبريد هذا الغاز تحت درجة حرارة تحول عند جول طومسون Joule-Thomson (193°K) ، وأتاح أسلوب لند Linde فيما بعد حمله إلى ما دون درجة حرارته الحرجة (33°K) . وتم أيضاً تسييل الهليوم سنة 1908 في مختبر كريوجين في ليد Leyde الذي أسسه هـ . كامرلنغ اونس H. Kamerlingh Onnes . واستخدم الهيدروجين السائل من أجل تبريد الهليوم تحت درجة التحول (100°K) . ثم تم الحصول على تبريد إضافي بواسطة المفعول جول ـ طومسون Joule-Thomson . وباستخدام الهليوم السائل تحت ضغوطات خفيفة جداً ، نجح مختبر ليد في الوصول إلى درجة الحرارة 0. 84°K . وفي درجات حرارة من هذا المستوى ، أظهر الهليوم السائل خصائص غير متوقعة ؛ وهكذا استطاع ان يصعد على طول جوانب وعائه لكي يرتحل إلى وعاء فارغ ، واقع بالجوار . نذكر أيضاً ظاهرة التوصيل العليا Supraconductibilité (راجع بهذا الموضوع دراسة ج . الارد G. Allard في الفقرة IV من الفصل VII . ودراسة ب . مارزين P. Marzin وج . لومزك J. Le Mezec في الفقرة VIII من الفصل IX) .

وتم الحصول على نجاح آخر جديد في مقاربة الصفر المطلق ، وذلك سنة 1933 بفضل وليم . ف . جيوك (William F. Giauque) .

واجرى جيوك Giauque تجارب حول إزالة المغنطة الكظمية (دون فقدان أو كسب للحرارة) في سولفات الغادولينيوم المبرد حتى درجة 1,5°K في حقل مغناطيسي من طاقة 8000 اورستد . وبعد زوال الحقل المغناطيسي ، فقد الملح فجأة مغناطيسية ، ونتيجة زيادة القصور الحراري المستحدث على هذا الشكل سقطت الحرارة إلى 0,25°K . وبهذه الطريقة ، سنة 1950 ، أمكن الوصول إلى درجة الحرارة 0,0014°K في مختبر ليد ، ورغم هذه النجاحات ، بيّن التحليل النظري للتجارب ان الصفر المطلق غير ممكن البلوغ .

3 ـ التحرك الكيميائي

رغم النجاحات التي تمكن الترموديناميك من الوصول إليها في حلّ المسائل النظرية والصناعية المتنوعة جداً ، فقد ظهر عاجزاً عن مباشرة دراسة المراحل المتتالية في التفاعلات ، من جراء كونه يعالج أنظمة كيميائية متوازنة متجاهلاً كيفية التوصل إلى هذا التوازن . وعليه يجب اعتباره في هذه الحالة ، على اتصال بالسرعات وبالأواليات التفاعلية .

الفرضيات الأولى ـ كانت سرعات التفاعل موضوع دراسات متقطعة بخلال القرن التاسع عشر ، ولكن المسألة لم تكن لتتقدم أبعد من المرحلة التجريبية . في سنة 1884 حاول فانت هوف ، أن يطرح فرضية التصادم Collision ، آملاً بالتالي بوضع القوانين التي تعبر عن تغير سرعة التفاعل تبعا للتكثف . ولم تنجح محاولاته الا جزئيا ، بسبب تدخل عناصر مشاغبة ومربكة غير درجة الحرارة وغير التكثف . في سنة 1889 أدخل آرهينيوس مفهوم الجزيئات الناشطة ، مفترضاً ان الجزيئات ذات المستوى من الطاقة الذي يفوق المتوسط بكثير هي وحدها التي تستطيع التفاعل ضمن التصادم . ورغم هذا التحسين ، لم تستطع نظرية التصادم Collision تقديم الحل المُرْضي .

فرضية « التشعيع » ـ طُوِّرت نظرية « التشعيع » قبل سنة 1919 انطلاقاً من أعمال جان بِرّان Jean Perrin ، وهي توحي بأن الجزيئات التي تتفكك في التفاعلات أحادية الجزيئات تتلقى طاقاتها التنشيطية من الاشعاعات تحت الحمراء المتأتية من جوانب الوعاء .

منذ سنة 1913 اهتم جان بِرّان بواقعة مفادها انه في التفاعلات أحادية الجزيئات لا تتحدد سرعات التفاعل بفعل تواتر الاصطدامات . وساهم كل من و . تروتز W. Trawtz في المانيا وك . مك لويس C. Mc C. Lewis في انكلترا ، أيضاً في تطوير هذا المفهوم الذي استقبل بحماس فتسبب بالعديد من البحوث الاختبارية ، وكشفت الدراسات الدقيقة ، ان هذه الفوضية تقود إلى بعض الاستنتاجات التي تتنافى مع الوقائع الاختبارية .

ورغم الصعوبات المعترضة في البحث عن تفسير كافٍ للطاقة المنشطة ، تمّ تسجيل تقدم واضح في انجاز وضع نهج رياضي يتيح دراسة الحركية في التفاعلات . ان الأعمال التي بوشر بها في هذا المجال من قبل ر . مارسلين R. Marcelin كانت مهمة بشكل خاص .

وضع مارسلين صيغة للتحولات ذات درجة الحرارة الثابتة وحاول ان يستنتج من قانون التوزيع تعبيراً عن سرعات التفاعل . والمعادلة التي حصل عليها ليميز تأثير درجة الحرارة على سرعات التفاعل طبقت على تصعيد اليود والنفتالين وتبخر النيترومنزين .

وبعد مضي ما يقارب من عشر سنوات ، باشر هـ . ايرنغ H. Eyring الأعمال التي سوف توصله إلى « نظريته ذات المعدل المطلق » .

وباستخدام المعطيات الطيفية أو المنحنيات الكامنة التي قال بها مورس ، نجح في حساب طاقات التنشيط . وكانت طريقته مرتكزة على الاهتمام بسرعات التفاعلات الكيميائية والفيزيائية ، وبقوة الاتصالات الكيميائية وبدرجات الحرارة . وحوالي سنة 1936 ، طبقت نظرية ايرنغ ، حول المعدل المطلق، على ظاهرات فيزيائية مثل الانتشار ، واللزوجة واللدونة وبخلال السنوات اللاحقة ، طبقت نظرية ايرنغ على تفاعلات التسجيل المعدني (بما فيه التشوّه البطيء والتحبحب granulation) وعلى التفاعلات البيولوجية ، وعلى الظاهرات الجيرلوجية (تقبب الجبال ، حركات جبال الجليد) ، وعلى تشكل المكثّفات Polymères العالية .

التفاعلات التسلسلية المتفاقمة ـ وبالعودة إلى فرضة التصادمات وضع ف . آ . ليندمان F. A. Lindemann رياضياً ، انه في التقريب الأول ، يمكن تفسير الحركية بفعل أوالية الاصطدامات (1922) . وقدم ك . ن . هنشلوود C. N. Hinshelwood لهذه الفرضية سلسلة من الاستكمالات والتحسينات والتصحيحات الرامية إلى توضيح التفاعلات الكيميائية الأوّلية .

ان تحديد أوالية التفاعلات المتفاقمة كان هو الأهم . وعندما قام م . بودنشتاين Bodenstein بدراسة تشكل أسيد (حامض) بروموهيدريك ، انطلاقاً من عناصر ، ظنٌ انه عثر ، من وجهة النظر الحركية ، على النموذج الجزيئي المزدوج (Bimoléculaire) الموضوع في أواخر القرن التاسع عشر من أجل اصطناع حامض اليود المائي iode hydrique . ولكن ، في هذه الحالة الأخيرة ، بدت الحركية مختلفة تماماً ، ولم تتوضح أوالية التفاعل التسلسلي الا بعد عدة سنوات . وتوسع فرضية سلسلة التفاعلات ، الذي افترض الوجود المؤقت للجذور Radicaux الحرة ، مثل المتيل أو الفينيل ، استقبل استقبالاً سيئاً نوعاً ما ، رغم ان جذوراً من سلسلة ترفينيلمتيل قد لوحظت من قبل م . غومبرغ M. Gomberg في بداية القرن . ومع تقبل وجود جذور كبرى عضوية وحرة ، فان الكيميائيين رفضوا تقبل وجود جذور صغرى من هذا النمط . الا أن أعمال ف . آ . بانت Paneth وف . و . رايس F. O. Rice (أنظر الفقرة VI) ، أوجبت إعادة النظر في هذه المشكلة . وقرابة منتصف القرن ، أخذ استعمال الجذور الحرة ، لتفسير أوالية التفاعلات يقرب من الأذهان عموماً ، بعد ان سمح الميكانيك الكمي بالقول ان مثل هذه الجذور يمكن ان تكون مستقرة . وكان هذا التأويل مفيداً بشكل خاص لفهم التفاعلات العضوية . وقد لعب ن . م . سيمينوف N. M. Semmenov الذي خصص منذ سنة 1930 العديد من الأعمال المختلفة لمظاهر الحركية الكيميائية ، دوراً أساسياً في وضع نظرية التفاعلات التسلسلية .

4 ـ نظرية الحلول

نظرية ارهينيوس ـ في مطلع القرن العشرين كانت نظرية الانفصال الالكتروليكي (التحليلي الكهربائي) التي وضعها ارهينيوس Arrhenius مقبولة ومنتشرة نوعاً ما ، رغم انها لم تكن تطبق على المحاليل اللزجة ، وان العديد من المسائل ذات العلاقة بهذه النظرية بقيت بدون جواب ، وبدت غير قابلة للحل . وساهم العديد من تلامذة اوستولد Ostwald في تطويرها وفي انتشارها . وجواباً على الانتقادات التي وضعها كيميائيون أمثال هـ . ارمسترونغ H. Armstrong في انكلترا ول . كاهلنبرغ Kahlenberg في الولايات المتحدة فان أعمالهم حول المحاليل قد تويعت بنشاط بأمل الوصول إلى بنية نظرية مرضية . الواقع ان نظرية ارهينيوس ، والدراسة الترموديناميك للحلول المباشر بها من قبل فانت هوف لم تكن تطبّقان الا على المحاليل اللزجة المائعة جداً .

نظرية ديبه ـ هوكل **Théorie de Debye-Huckel** ـ سنة 1923 قام بيتر دبيه Debye من زوريخ ومساعده أ . هوكل Huckel بتحسين مهم لهذه النظرية ، فقد بدا يومئذ ، انه من المؤكد ان أيونات الأملاح تنتج عن تحويلات الالكترونات المحققة ساعة تشكّل المركّب . من جراء هذا بدا ان

الأملاح يجب ان تنفصل تماماً إلى ايونات عندما تـذوّب في الماء . الا ان كل تدابير التوصيل والضغط البخاري تكشف عن درجة من الفصل أقل بوضوح من 100% . وافترض دبيه وهوكل انه ، بفضل الجذب بين الأيونات ، فان كل أيون محاط بجو من الايونات ذات الشحنات المتعارضة . واستنتجا من ذلك تعبيراً عن تغير التوصيلية مساوٍ تبعاً لدرجة التركيز في المحلول (هذه النظرية معروضة بتفصيل أكبر في دراسة ب مارزين P.Marzin وج . لوميزك J. Le Mezec في الفقرة VI من الفصل IX) . وأدخلت تحسينات على طريقة دبيه ـ هوكل سنة 1926 من قبل النروجي د . اونساجر D. Onsager الذي أدخل الحركة البرونية للأيونات . وعلى كلٍ ، إذا أعطت هذه النظرية نتائج حسنة في دراسة المحاليل المائعة ، فإن المسائل المتعلقة بالمحاليل الأكثر تركيزاً لم تلقَ بعد تفسيراً نظرياً مرضياً تماماً .

5 ـ نظرية الحامض ـ القاعدة

المفهوم الكلاسيكي ـ أن نظرية الفصل الالكتروليتي التي وضعها ارهينيوس أدت إلى ربط الخصائص الحمضية بوجود ايونات هيدروجينية حرة وربط خصائص القواعد Les Bases بوجود ايونات هيدروكسيل . والتحييد يقتضي عندها تشكّل ماء بفعل هذه الأيونات H^+ وOH^- . ومن جراء كون الماء يظهر توصيلية جد خفيفة ، يتوجّب افتراض وجود تفكك ضعيف في هذه الجزيئات ثم افتراض وجود أيونات في كل المحاليل اللزجة . ان تحديد التركيز الأيوني في الماء هو (1×10^{-14}) والتثبّت من أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل في الأنظمة المتوازنة ، أتاح فعلاً تفسير الحموضة من وجهة النظر الأساسية هذه حول التركيز على أيونات الهيدروجين . في سنة 1909 قام الدانمركي س . ب . ل . سورنسن S.p.L. Sorensen بادخال مفهوم pH ؛ هذا العدد ، وهو تمام ـ لوغاريتم تركيز أيونات الهيدروجين ، يقع بين صفر و7 بالنسبة إلى الماء الذي هو محايد . ان هذا المفهوم قد بدا مريحاً ، في الكيمياء الخالصة ، وفي الكيمياء الصناعية ، وحتى في البيولوجيا .

نظرية برونستد Bronsted ـ في حين نجحت نظرية ارهينيوس في تفسير ظاهرات الحموضة والقلوية في المحاليل اللزجة ، فإنّها فشلت تماماً في تفسير ظاهرات الحوامض القاعدية داخل المحاليل غير اللزجة . وبيّن ا . ك . فرانكلين E. C. Franklin ان ظاهرات التفكك تحدث أيضاً في الأنظمة السائلة النشادرية المؤدّية إلى تشكّل ايونات NH^-_2, NH^+_4 . ويبدو اذن ان تفاعلات مماثلة للتحييدات تحدث فيها بين الأملاح النشادرية والنشائيات . ثم تبيّن فيما بعد ان تفاعلات من هذا النمط يمكن أن تحدث أيضاً داخل المذيبات غير اللزجة .

ان فهماً أوسع لنظرية الحوامض والقواعد التي يمكن أن تطبق على الأنظمة غير اللزجة ، قد أنجز بخلال العشرينيات ، خاصة ، عقب بحوث نظرية قام بها الدانمركي ج . ن . برونستد والانكليزي ت . م . لوري T. M. Lowry . سنداً لتصور برونستد ـ لوري كل مادة يمكن ان تعطي ايونات هيدروجين ، هي حامض ، وكل مادة يمكن أن تقبل مثل هذه الأيونات هي قاعدة .

تعتبر B وكأنها القاعدة المتزاوجة مع الحامض A :

$$A \rightleftharpoons H^+ + B$$

حامض — بروتون — قاعدة

أتاحت هذه النظرية توسيع مفهوم نظام الحامض ـ القاعدة رغم انها تقتضي وجود بروتونات داخل مثل هذه الأنظمة . وعلى هذا فان الحوامض والقواعد يمكن ان تكون أيضاً جزيئات كما تكون أيونات . وهذان مثلان عنها :

$$H.C_2H_3O_2 \rightleftharpoons H^+ + C_2H_3O_2^-$$
$$NH_4^+ \rightleftharpoons H^+ + NH_3$$

وسرعان ما ظهر ان البروتونات غير موجودة أبداً بحالة حرة ، بل انها متزاوجة مع المذيب . من ذلك في الماء وفي الامونياك ، فان التفاعلات التالية تحدث إلى درجة ما :

$$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$
$$NH_3 + NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + NH_2^-$$

حامض — قاعدة — حامض ممزوج — قاعدة ممزوجة

وهناك حوامض أخرى أيضاً مع المذيب :

$$HCl + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + Cl^-$$
$$H.C_2H_3O_2 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + C_2H_3O_2^-$$
$$NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + NH_3$$
$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$
$$H_2O + CN^- \rightleftharpoons HCN + OH^-$$

وسنداً لنظرية برونستد ، فإنّ نفس الجزيء ، أو نفس الايون ، قد يتصرف مرة كحامض ، ومرة كقاعدة بحسب الاجسام الأخرى المتاحة أو التي من شأنها أن تتفاعل ، والمعيار هو الأهلية لتلقي أو لاعطاء البروتونات .

نظرية لويس Lewis ـ وقد كشفت أعمال أخرى وجود أنظمة مماثلة لا ينوجد فيها الهيدروجين اطلاقاً ، من ذلك ان الفسجين السائل يبدو وكأنه ينحل إلى ايونات Co^{++} و CL^- وان الأنيدريد السولفور السائل يتصرف كنظام منفصل بضعف ($2\ SO_2 \rightleftharpoons SO^{++} + SO_3^{=}$) . والمفهوم الموسع ، الذي يتيح ادخال أمثال هذه الأنظمة في إطار نظرية الحامض ـ القاعدة ، قد رسمه ج . ن . لويس منذ 1923 ، ولكنه لم يكتمل الا سنة 1938 . وقد ساهم سيدويك أيضاً في تكون هذا المفهوم . وسنداً لنظرية لويس ، فان كل قابل للالكترونات هو حامض ، وكل معطٍ للالكترونات هو قاعدة .

$$H^+ + :\ddot{O}:H^- \rightleftharpoons H:\ddot{O}:H$$

$$\begin{array}{c} Cl \\ Cl:\ddot{B} \\ Cl \end{array} + \begin{array}{c} H \\ :\ddot{N}:H \\ H \end{array} \rightleftharpoons \begin{array}{c} Cl\ \ H \\ Cl:\ddot{B}:\ddot{N}:H \\ Cl\ \ H \end{array}$$

حامض قاعدة مركب تشاركي

وقد كشفت بحوث أجريت على مختلف المحاليل غير الماويّة ، خاصة بحوث أجراها ك . آ . كروس C. A. Krauss وأ . ك . فرانكلين E. C. Fraklin ، ان خصائص حامض ـ قاعدة قد تظهر في غياب اي بروتون .

وعلى هذا فان أي تفاعل تحييدي يمكن ان يلاحظ داخل محلول سن مثلث كلورور البور في الكلوروبنزين عندما نضيف التريبتيلامين بحضور دليل مثل البنفسجي المتبلر . وسنداً لنظرية لويس ، فإن التحييد هو نتيجة تشكل جزيء تشاركي .

$$\begin{array}{c} Cl \\ Cl:\ddot{B} \\ Cl \end{array} + \begin{array}{c} C_2H_5 \\ :\ddot{N}:C_2H_5 \\ C_2H_5 \end{array} \rightleftharpoons \begin{array}{c} Cl\ \ C_2H_5 \\ Cl:\ddot{B}:\ddot{N}:C_2H_5 \\ Cl\ \ C_2H_5 \end{array}$$

حامض قاعدة مركب تشاركي

6 ـ كيمياء السطوح (اللدائن Colloïdes)

اتجاه البحوث ـ بما ان جزئيات اللدائن تمتلك سطحاً ضخماً بالنسبة إلى وحدة الكتلة النوعية ، فإن كيمياء اللدائن وكيمياء السطوح مرتبطتان بوثوق ؛ وأيضاً ، فإنه بخلال القرن العشرين ، عرف هذان المجالان نهضة مشتركة . وفي مطلع القرن ، اهتم الكيميائيون قبل كل شيء بدراسة بعض الأنظمة النموذجية : معادن مشتتة ، سولفور واوكسيدات هيدراتية . وبخلال الحقبة التالية ، جرى الاهتمام أكثر بالجزيئات الكبرى ، وخاصة بالجزيئات التي تدخل في البروتينات وفي هيدرات الكاربون المركبة . وحوالي منتصف القرن ، جرى الاهتمام بشكل خاص بالجزيئات التوكيبية ذات الأبعاد اللدائنية Colloïdales .

الآلات الجديدة ـ لقد استعمل المجهر المتفوّق ، الذي وضعه ر . سيغموندي Zsigmondy في بداية القرن ، وبفائدة كبيرة ، في دراسة عدد وسلوك الجزئيات اللدائنية . وفيما بعد ، ساهمت أدوات أخرى وبفعالية في بعض البحوث ، وأثرت بشكل ضخم في توجه مختلف الأعمال .

والألومين ، الخ . وفي حدود السنوات 1900 درس علماء كيمياء اميركان وروس والمان امكانية

وتم تحقيق الآلات المبعدة عن المركز (أو المركسات الدائرية Ultracentrifugeuses) على يدت سفدبرغ Svedberg عقب سنة 1920 . وقد أتاحت هذه الآلة هذه تدوير المحاليل اللدائنية في سرعات تحمل قوى الترسيب Séimentation إلى قيمة تساوي 240 000 قوة الجاذبية الأرضية ، وتحت تأثير مثل هذه القوى أمكن اجبار جزئيات صغيرة نسبياً ، مثل جزيئات السكّروز على الترسيب .

هذا الترسيب يمكن ملاحظته وذلك بقياس تغير مؤشر الانكسار بصرياً ، هذا التغير الذي يحدث بمقدار تضاؤل الحاجز بين المحلول اللدائني والمذيب النقي . وبخلال تحليل الخلائط اللدائنية ، أمكن حتى رصد سرعات الترسب في المكونات المختلفة . وكانت هذه الطريقة مفيدة للغاية لدراسة البروتينات في البلاسما الدموي . وبخلال السنوات القريبة زالت المركسة الدائرية التي صممها سفدبرغ لتحل محلها انماط أخرى من « العصارات » أقل كلفة ، تعمل بالهواء المضغوط أو بالكهرباء وتعطي نتائج مشابهة .

وابتداء من سنة 1937 ، انجز آ . تسيليوس Tiselius في مختبر سفديرغ ، طريقة الالكترفوريز Électrophorèse ، هذه التقنية التي تسمح بدراسة الارتحال ، في حقل كهربائي ، ارتحال الجزئيات اللدائنية المشحونة ، قد لعبت دوراً مفيداً للغاية في فرز البروتينات من البلاسما الدموية .

وانطلقت ، في المانيا ، بفضل آ . بوكلس A. Pockels سنة 1891 ، دراسة الطبقات أحادية الجزيء وطورها لورد رايلي Rayleigh بخلال السنوات التالية .

لوحظ ان هذه المواد القليلة الذوبان كالزيت يمكن ان تنتشر فوق سطح الماء فتقلل من الضغط السطحي ، حتى عندما تكون بكميات صغيرة جداً إلى درجة انها تشكل طبقة أحادية الجزيء . وحقق ي . لانغموير I. Langmeur ميزان سطح قياسات دقيقة لطبقات كتلك التي تشكلها الحوامض الشحمية والكحول ذات السلسلة الطويلة .

ان النتائج التي توصل اليها لانغموير ، في الولايات المتحدة ، ون . ك . آدام N. K. Adam ، في انكلترا ، فيما يتعلق بأحجام الجزيئات في الحوامض الدهنية وغيرها من المواد ، بدت متوافقة مع القيم المحسوبة بواسطة طريقة انشطار Diffraction الأشعة السينية . وتم الحصول أيضاً على نتائج مهمة في دراسة الجزيئات المعقدة ، كخلايا الستيرويد Stéroide والبروتينات . ان بحوث E. K. Rideal في كمبريدج حول الطبقات (القشرات) أحادية الجزيء قد قدمت إشارات مفيدة حول الجوانب الخلوية وحول التفاعلات المناعية وحول سلوك السموم .

الامتصاص من قبل الجوامد ـ تناولت أعمال عديدة امتصاص سطوح الجوامد ؛ والاهتمام بهذه الظاهرة يعود إلى أن هذه البحوث قد بدت مفيدة تماماً في تفسير سلوك الوسيطات Catalyseur . وغالبية هذه الأعمال تتعلق بامتصاص الغازات ، ولكن جرى الاهتمام أيضاً بامتصاص مركبات محلول ما ، وهي ظاهرة تلعب دوراً مهماً أثناء تنقية المحاليل ، في المختبر أو

في الصناعة ، وهي على علاقة وثيقة مع الاستشراب Chromatographie .

ان الميزان المحقق في مختبرج . ملك بين J. Mc Bain قد استعمل كثيراً في القياس المتري لامتصاص الجوامد . واستعملت أيضاً طرق لقياس الحجم . وقد بينت هذه الأعمال عن وجود أواليتي امتصاص ، واحدة فيزيائية والأخرى كيميائية ؛ ويتوقف الامتصاص الكيميائي منذ تشكل قشرة جزيئية ، في حين ان الامتصاص الفيزيائي قد يستخدم قشرات متعددة الجزيئات .

في سنة 1916 قدم لانغموير أول نظرية لمجمل امتصاص الغازات من قبل الجوامد ؛ فادخل فيها « خط تساوي درجة الحرارة ، الذي يتفرع ادخاله من نقاش حركي للتكثف وللتبخر الذي يصيب الجزيئات الغازية فوق سطوح الجوامد . أما الامتصاص الحاصل داخل المحاليل فلم يفسر ، بشكل مُرْضٍ هكذا ، رغم انه في العديد من الحالات ، أمكن تفسير الوقائع التجريبية بواسطة خط تساوي درجة حرارة تجريبي تمّ اقتراحه سنة 1909 من قبل هـ . ك فرويندليخ H. K. Freundlich .

IV ـ الكيمياء التحليلية

1 ـ الاتجاهات العامة

حالة الكيمياء التحليلية سنة1900 ـ في مطلع القرن العشرين ، قلّما كانت الكيمياء التحليلية إلا أداة متواضعة تماماً في خدمة فروع الكيمياء . كانت هناك أساليب ثقالية gravimétriques ومحجامية مرضية مستعملة لتحليل مواد معدنية عديدة . ان تقنيات التحليل الأولي للكاربون ، والهيدروجين ، والأزوت ، والهالجينات والكبريت الموجودة في المركبات العضوية كانت تستعمل أيضاً بنجاح ، رغم ان طرق تحديد المجموعات الوظيفية والمبادىء المباشرة الفورية كانت ناقصة الاكتمال .

ان العديد من الوسائل التحليلة المستعملة كانت قد تطورت بشكل تجريبي خالص ، رغم ان المعارف الحاصلة حديثاً حول التوازن الكيميائي قد أثبتت وأيدت متانة المناهج المقررة كما أثبتت مبادىء جديدة أتاحت تحسين الوسائل العقيمة . ولم تلعب تقنيات المعدات الا دوراً محدوداً جداً . فقد كان مقياس الاستقطاب ،Polorimétre ومقيامس السكّر (مسكار) Saccharimétre مستعملين منذ أكثر من نصف قرن في تحليل المركبات التي تبدو ناشطة بصرياً ، وكانت مقاييس الالوان تستعمل لمقارنة الوان بعض العيّنات مع ألوان المحاليل المعيارية Standard . وكان المطياف Spectroscope مستخدماً في التحليل النوعي ، وبشكل أقل عمومية في الدراسات الكمية .

تأثير الكيمياء الفيزيائية ـ لقد تغيرت ميزات الكيمياء التحليلية تغيراً ضخماً بخلال القرن العشرين . في مطلع القرن أتاح تقدم الكيمياء الفيزيائية دراسة نظرية للمناهج الغرافيمترية (الثقالية) والمحجامية التقليديتين . لقد لعبت مفاهيم التوازن ، المبثقة عن البحوث حول المحاليل دوراً مهماً في فهم تفاعلات الترسب ووسائل المراكزة Titrage ، وبدت المفاهيم الجديدة ، مثل مفاهيم ناتج المحلولية ، وناتج pH ، ومفعول الايون المشترك ، ومفعول الوقاية والتوازن الايوني المعقد ، مفيدة جداً ، حين أتاحت تأويلاً أفضل لمختلف الوسائل التحليلية ، النوعية والكمية .

لقد بوشر بتفسير أوالية المؤشرات منذ سنة 1891 ، من قبل و . اوستولد W. Ostwald الذي وضع لها أول نظرية ؛ ورغم ان هذه النظرية كانت قليلة الكفاية ، الا انها فتحت الطريق إلى تفسير المؤشرات باعتبار اشباه حوامض وقواعد ، وذلك من قبل آ . هانتشA. Hantzsch وتم بالتدريج التعرف على تأثير التركيز في أيونات الهيدروجين على تغيرات اللون ، مما بين أهمية المراكزة بـ pH المحدد تماماً . ان التاريخ الخاص حول الدلائل الملونة المنشور سنة 1914 من قبل ن . بجيروم N. Bjerrum يحتوي على تأويل جديد للتحليل المائي للأملاح .

2 ـ التحليل التصغيري Microanalyse

رغم ان بعض المناهج التحليلية ، الحساسة تجاه المضامين الخفيفة ، كانت مستعملة منذ زمن بعيد (اختبار مارش Marsh بالنسبة إلى الزرنيخ ، أسلوب نسلر Nesler بالنسبة إلى الامونياك) ، فإنه بخلال القرن العشرين أصبح التحليل التصغيري منهجاً شائع الاستعمال . لقد وضع ف أميش F. Emich (1860-1940) ودي غراز De Graz نهضة المناهج المصغرة الكمية عن طريق تخفيض أحجام أجهزة التحليل وتكييف التقنيات لتتلاءم مع استعمال عينات من عيار بعض المليغرامات فقط . وقد جهد أميش Emich أيضاً في تطوير استعمال المحاولات باللمس لتحديد هوية المواد المعدنية . ولكن ف . فيغل F. Feigl بشكل خاص هو الذي ساهم ، في فيينا أولاً ثم في البرازيل فيما بعد ، في نشر تطبيقات المحاولات من هذا النوع ، الجارية بواسطة المنشطات المتنوعة العضوية والمعدنية .

وفي حوالي سنة 1910 ، نجح ف . بريغل (1869-1930) ، ومثله دي غراز de Graz في اجراء المزيد من التصغير في العمليات التقليدية المتعلقة بالتحليل العضوي . ان المناهج الكلاسيكية المستخدمة بالنسبة إلى الكربون والهيدروجين ، وطريقة دوماس Dumas بالنسبة إلى الأزوت وطريقة كاريوس Carius بالنسبة إلى الكبريت والهالوجينات ، قلصت بشكل عمليات مصغرة جداً . وصنعت أجهزة خاصة من أجل التحديد المصغر لنقطة الذوبان ولانخفاض نقطة التجمد ، وللتحديد المصغر لارتفاع درجة الغليان .

ان الطرق المصغرة قد انتشرت بسرعة في التحليل العضوي لأن المكنات التي تتيحها من حيث امكانية اجرائها على عينات صغيرة جداً ، اعتبرت تقدماً ضخماً خاصة بالنسبة إلى بعض التحليلات ذات الطبيعة البيولوجية .

ان التقدم الذي تحقق في مجال دراسة الظاهرات المشعة قد حتّم ادخال الطرق التحليلية الجديدة « وهي الطرق المتناهية التصغير » الأكثر حساسية من الطرق التي كانت مستعملة حتى ذلك الحين . وبفضل تحسين الطرق التصغيرية القائمة ، وبفضل استعمال أدوات مصممة خصّيصاً ، وبفضل أستخدام تقنيات جديدة ، أصبح بالامكان التعامل مع عينات تزن أقل من ميكروغرام أو غامّا [جزء من مليون من الغرام] (بنديتي ـ بيكلر Benedetti-Pichler) .

3 ـ المناهج الأدواتية

الاتجاهات العامة ـ لقد بيّن القرن التاسع عشر ان الأدوات مثل مقياس الانحراف Refractomètre ، ومقياس الاستقطاب Polarimètre والمطياف Spectroscope يمكن ان تلعب دوراً مهماً في الكيمياء التحليلية ، ولكن بخلال الربع الأول من القرن العشرين ، لم تكن هذه التقنية الادواتية إلا موضوع تحسينات ذات أهمية ضئيلة . وبالمقابل ، لقد رأى الربع الثاني من القرن تحقيق تقدم ضخم عمل على تغيير طبيعة الكيمياء التحليلية . هناك سببان رئيسيان ، خارجان عن نطاق الكيمياء ، هما في أساس هذا التطور في المناهج : وضع أجهزة الكترونية حساسة جداً ذات استعمال هيّن ، ثم النمو السريع في الحاسبات الالكترونية ذات القدرات الضخمة .

في حين ان تحسين بعض الطرق الكلاسيكية ، أمثال قياس الاستقطاب Polarimétrie (ك . دجيراسي C. Djerassi) ، ودراسة اللونانية الدائرية Dichroisme (لغران Legrand) ، الخ . قد وسعت بشكل ضخم حقل عملها ، فقد أُدخلت طرق جديدة عديدة ومتنوعة .

البولاروغرافيا (التحليل الاستقطابي) ـ لقد استعمل المحلّل الاستقطابي Polarographe بخلال البحوث حول المحلل ذي النقطة ، وقد أجريت هذه البحوث ابتداء من سنة 1922 من قبل ج . هيروفسكي J. Heyrovsky في براغ . ثم استعمل بنجاح في تحديد مختلف الايونات المعدنية الضعيفة الكثافة ، وفي المجموعات العضوية سهلة التحويل . وكان التسجيل الاستقطابي أيضاً في أساس المراكزة Titrage بالمقياس الامبيري (ampérométrique) .

الطرق المقياسية المطيافية التصويرية Spectrophotométrique ـ ظلت الطرق المقياسية التلوينية التقليدية ، ذات الصفة التجريبية الغالبة ، مستعملة حتى الثلاثينات ، وبعدها جاء استعمال المقاييس الطيفية وأخذ يشيع . وبفضل مناخل ، وموشورات أو شبكات ، أمكن وضع إضاءة شبه أحادية اللون ، وبالتالي العمل ضمن ظروف قريبة من الظروف التي يقتضيها قانون بيير ـ لامبرت -Beer-Lambert) . فضلاً عن ذلك ان الخلايا الكهرضوئية قد أتاحت قياس زخم النور المنقول ، قياساً بدقة أكبر من الدقة التي يتيحها الفحص البصري . هذا الانجاز لآلات أفضل ملاءمة وتكيفاً حفز دراسة مواد تفاعلية جديدة ذات تلوين قابل للقياس ، وذات مكنات استعمالية وأكثر تنوعاً . ثم ان التقدم في المعدات قد أتاح أيضاً توسيع استعمال هذه الأساليب فيما هو أبعد من الطيف المرئي ، خاصة في مجال ما فوق البنفسجي وما تحت الأحمر .

المطيافية تحت الحمراء ـ لقد تم صنع أدوات تستخدم الطاقة المشعة المتوافقة مع المجال تحت الأحمر ، وهي جزء من التشعيع الممتد من ما هو قريب من 0,78 μ (ميكرون) إلى ما هو

أبعد من المجال المرئي حتى حدود 300μ تقريباً ، وذلك من أجل ممارسة التحليل عن طريق الامتصاص .

ونظراً لأن هذه المنطقة الطيفية تحتوي على تواترات تشبه التواترات الموجودة في الذبذبات ذات البنية الجزيئية ، يمكن بالتالي دراسة الكتل الذرية ، وقوى الاتصال والتشكلات الجزيئية ؛ وهكذا أيضاً يمكن عن طريق هذه التقنية تحديد هوية بعض المجموعات المزودة بأشرطة امتصاص تميزية . ان المطيافية تحت الحمراء كانت جدٌ مفيدة في الكيمياء العضوية ؛ وقد لعبت دوراً مهماً في دراسة بعض المركبات المعدنية .

انحراف الأشعة السينية والالكترونات ـ اذا كانت الأشعة السينية (إكس) لم تأخذ مركزاً مهماً في التقنيات التحليلية الاصطلاحية فهي قد لعبت دوراً أساسياً في الدراسات حول بنية البلورات (أنظر بهذا الشأن دراسة ج . أورسل ما الفقرة I من الفصل II من القسم الثالث) . ان فرضية م . فون لو Von Laue (1912) فيما يتعلق بانحراف الأشعة السينية بفعل الطبقات الذرية الموجودة في البلور ، قد أثبتت تجريبياً ، فأصبح انحراف هذه الأشعة وبسرعة طريقة قوية جداً لدراسة هيكلية البلورات . وفيما بعد أمكن استخدام انحراف الالكترونات أيضاً في دراسة بنية الأجسام المختلفة .

قياس طيفية الكتلة ـ انبثقت هذه التقنية من بحوث ج . ج . طومسون الذي استخدم سنة 1912 مزيج حقل مغناطيسي بحقل كهربائي ستاتيكي لينفصل ، تبعاً للكتل ، ايونات متحركة . وهناك أيونات تتطابق بنفس النسبة التي توجد بين الشحنة والكتلة e/m وتترك أثراً اهليلجياً فوق صفيحة فوتوغرافية . وفي حالة النيون ، لاحظ ج . ج . طومسون وجود اهليلجين يتطابقان مع الكتلة 20 والكتلة 22 . وبعد الحرب العالمية الأولى عاد فرنسيس آستون مساعد طومسون إلى دراسة هذه الظاهرة الشاذة وقرر بوضوح وجود نظيرين مشعين من النيون في الطبيعة .

وأتاح التصوير الطيفي لكتلة آستون ، هذا التصوير المرتكز على مرور متتال للأيونات في الحقل الكهربائي الستاتيكي والمغناطيسي ، أتاح جمع (في نفس النقطة من الصفيحة الفوتوغرافية) كل الأيونات ذات النسبة نفسها e/m ثم زيادة حساسية التجارب زيادة ضخمة . وفيما بعد بيّن ان العديد من العناصر توجد بشكل طبيعي بهيئة أمزجة من النظائر . واستخدم جهاز صمم سنة 1917 من قبل آ . ج . دمبستر من جامعة شيكاغو ، مبادىء مماثلة ، ولكنه اشتغل على أيونات ذات سرعة متسقة ، قاس زخمها كهربائياً . وهذا الجهاز الذي سمي المقياس الطيفي للكتلة ، بدا أكثر ملاءمة من أدوات آستون من أجل تحديد النسب المختلفة الموجودة في النظائر المتنوعة .

وبخلال العقدين التاليين أدخلت تحسينات مهمة على هذين النمطين من المعدات مما أتاح تحديداً دقيقاً جداً للكتل النظائرية ، ولنسب التوزيع . وبحوالي 1940 شرع في استخدام هذه الأجهزة في بحوث جديدة .

وكان علماء الكيمياء الاحيائيون بشكل خاص راغبين في استعمال نظائر ساكنة مستقرة مثل

الآزوت –15 ، والكاربون –13 ، والاوكسجين –18 كمعالم في التجارب حول عملية الايض . وأمكن مثلاً ادخال حوامض امينية مزودة بالآزوت –15 ، في غذاء الحيوانات التي تجري التجارب حولها . وفيما بعد تقتل هذه الحيوانات ويستعاد الآزوت بطريق تكليس بعض من أنسجتها ثم يوضع في مقياس طيفي للكتلة ، مما يتيح معرفة مدى ترسب الحوامض الأمينية المدروسة فعلاً في هذا المقياس . وبالامكان أيضاً عزل بعض الحوامض الأمينية ثمّ تحليل ما فيها من آزوت –15 ، وذلك لمعرفة مدى مساهمتها في تحويل الآزوت .

وجرى التقاط هذه النظائر ، في بادىء الأمر بواسطة مقاييس طيفية للكتلة ، وكانت هذه المقاييس عادية شائعة . الا انه في حوالي سنة 1945 فقط ، وعلى أثر ادخال تحسينات مهمة على المعدات ، في الحقبة الواقعة بخلال الحرب العالمية الثانية ، ظهرت أجهزة مخصصة تماماً لهذا العمل ، وبدأ العلماء باستعمالها بشكل شائع . وبدت هذه المقاييس الطيفية للكتلة مفيدة جداً في تحليل الخلائط المعقدة ، من الجزيئات ، كما يظهر ذلك في أجزاء البترول أو في مواد أخرى . وفي بعض الأحيان قدم تحليل كميات صغيرة جداً معلومات ثمينة حول بنية المواد العضوية الطبيعية المعقدة نسبياً .

الصدى المغناطيسي النووي - هناك خصوصية اكتشفت حديثاً هي الصدى أو الرجع المغناطيسي النووي (تراجع بهذا الشأن دراسة أ . بوير وأ . هربين ، في الفصل VIII من هذا القسم) ، طبقت تطبيقاً ذا أهمية في مجال صنع الأدوات . والدراسات الأولى حول العزم المغناطيسي في الجزئيات النووية قد لعبت دوراً مهماً في تطوير الفيزياء النووية . وقد أتاحت الأعمال التي قام بها ف . بلوش Bloch وأ . م . بورسل Purcell ، وضع طرق لقياس تواترات الامتصاص النووي لبعض أشكال الطاقة . ولعبت هذه التقنيات دوراً مهماً في دراسات مسار التفاعلات الكيميائية وفي وضع واستخدام بعض الأساليب التعريفية والتحليلية خاصة في الكيمياء العضوية .

الصدى الالكتروني - في سنة 1944 لاحظ السوفياتي أ . زافويسكي ان صدى الدوامة الالكترونية يمكن أن يظهر في جزيئات تحتوي على الكترونات غير مزدوجة . في حقل مغناطيسي حقيقي تمتص مثل هذه الجزيئات مسايرة المغناطيسية الطاقة انما بقيم خاصة ، تحت تأثير تغير في اتجاه العزم المغناطيسي الناجم عن الدوامة لالكترونية . وفي حين يبدو هذا الصدى الالكتروني بدون معنى في التحليل التقليدي ، الا انه في دراسة الجذور الحرة والايونات المعقدة ، قد أظهر عن منفعة حين قدم معلومات بنيوية لا يمكن الحصول عليها بطرق أخرى .

4 - الاستشراب

الاستشراب الامتصاصي - رغم إن الامتصاص التفاضلي للمواد الملونة ، فوق ورقة نشافة قد استخدم من قبل ، وبشكل عرضي لغايات تجريبية ، فإنه فقط في أواخر القرن التاسع عشر بدأت ظاهرة الامتصاص تصبح موضوع دراسة منهجية . في هذا الحين لاحظ باحثون مختلفون وجود تغييرات في تركيب بعض المحاليل عندما تجتاز أعمدة من مادة ذرورية مثل الفحم والصوان

والألومين ، الخ . وفي حدود السنوات 1900 درس علماء كيمياء اميركان وروس والمان إمكانية فصل أجزاء البترول بواسطة تقنيات الامتصاص .

وفي العقد الأول من القرن استخدم العالم النباتي الروسي ميشال سويت Tswett (1872-1919) الامتصاص لفصل الالوان النباتية . وقد ذوب المستحلب المدروس في أثير البترول ، ثم مرر سويت هذا المحلول في عامود من الجماد الممتص مثل السلّولوز ، وكربونات الكلسيوم ، الخ . الموجودة في أنبوب من الزجاج . وظهر نوعان من الكلوروفيل هما الكاروتين والكسانتوفيل في العامود بشكل مناطق ملونة . وأمكن عزل هذه الالوان بالفصل الميكانيكي وبالتذويب في الكحول . ورغم ان سويت قد استعمل بشكل واسع التسجيل التلويني عن طريق الامتصاص في أعماله اللاحقة ، الا ان هذه التقنية قلما استخدمت قبل سنة 1930 وهو التاريخ الذي عمم فيه ريشار كوهن Kuhn استخدامها في فصل مختلف المنتجات الطبيعية .

واهتم المتخصصون في الكيمياء العضوية وفي الكيمياء الاحيائية اهتماماً كبيراً بالالوان النباتية وبالهرمونات الجنسية وبالحوامض الصفراوية المرارية وبالبورفيرين والانزيمات . ثم ان التسجيل التلويني بواسطة الامتصاص قد استخدم بشكل واسع من أجل حل المزائج ومن أجل التثبت من انسجامية ومن تركيز المواد التي لا توجد الا بشكل بقايا أو آثار ضئيلة . الا ان هذه التقنية لم تكن متلائمة مع التحليل الكمي .

ولما كان العديد من المركبات العضوية لا لون له فقد انصب الاهتمام على تفحص المناطق التي لا لون لها في العامود . وفي سنة 1934 استخدم التشعيع أو التنوير المضيء بواسطة الضوء فوق البنفسجي وذلك في مختبرات كارير Karrer ونتر شتين Winterstein ولاحظ تراب Trappe ان الحامض الصوّاني المطعم بمذيب يفقد شفافيته المغبشة في كل المناطق الماصة . وفي سنة (1936) فكر زيكميستر Zechmeister بإخراج العامود من الأنبوب ثم تطبيق منشطات مميزة على طول الراسمات ، بواسطة ريشة الرسم .

التحليل الجبهوي والاستشراب بالشطف elution المتجزّىء ـ أدخلت هذه التقنيات في السويد بعد 1945 على يد آ . تيسليوس ومساعديه . وتقتضي تقنية التحليل الجبهوي القياس الدائم لمؤشر الانحراف في السائل الخارج من العامود . وتعكس التغييرات في مؤشر الانحراف تغييرات في تركيب العصارة التي أخذت خارج العامود بفعل الشاطف éluent .

وبدت هذه الطريقة مفيدة جداً من أجل فصل ومن أجل التحليل الكمي للمحاليل السكرية ، ومنتوجات التحليل الكهربائي للبروتينات ، ولرواتب الحوامض الدهنية والكحول الاليفاتية (aliphatique) . ان الاستشراب بالشطف المتجزّىء ، رغم مماثلته في مبدئه للتحليل الجبهوي ، فإنّه يحقق تطوير الاستشراب بواسطة مذيب سهل الامتصاص ، وأسهل من امتصاص المواد الموجودة داخل العامود . ومن جراء هذا تستبعد المناطق الممصوصة أصلاً ، من العامود ، عند لحظة التظهير . ويحلل المحلول عند الخروج بقياس مؤشر الانحراف فيه .

الاستشراب المقسّم ـ بحوالي سنة 1941 لاحظ الانكليزيان . ج . ب مارتن Martin ور .

ل . م . سينج Synge انه ، رغم ان خلائط الحوامض الامينية يمكن أن تفصل بالقسمة بين سائلين غير قابلين للامتزاج ، مثل الماء والكلوروفورم ـ المتنقّلة بعكس التيار فيما بينهما ـ فبالامكان الحصول على فصل أفضل إذا كان أحد السائلين قد امتص في عامود مكون من مادة ذات مسام مثل مجمد الصوان . ان هذه الطريقة كانت فعالة بشكل خاص في فصل الحوامض الامينية ، والحوامض الديكاربوكسيليك ، والبنسيلين ، و « الهكساكلورو ـ هيكسان » ، والحوامض الدهنية ذات الوزن الجزيئي الخفيف .

في سنة 1943 درس آ . هـ . غوردون ومارتن وسينج استخدام النشاء أو السلّولوز كدعامة للمرحلة اللزجة اثناء عملية فصل الحوامض الامينية . واكتشفوا ان الورق النشاف يشكل دعامة ممتازة يمكن عبرها كشف موقع الحوامض الامينية المختلفة وذلك عن طريق ذر النينهدرين ، واستخدم الرسم التلويني التقسيمي على ورق ، وبدا مفيداً جداً في فصل وفي تحديد طبيعة المركبات الوسيطة التي تظهر أثناء تشكل هيدرات الفحم وبشكل عام في كل دراسات عمليات الايض . وأمكن تطبيق هذه التقنية على تحليل المواد بكميات ضعيفة جداً والتي قد تصل إلى حدود واحد على ألف من الملغرام .

الاستشراب في مرحلة البخار ـ ان هذه التقنية الجديدة قد وضعت سنة 1952 على أثر الاعمال التي قام بها آ . ت . جامس James ومارتن . انها نوع من التدوين التلويني التقسيمي تكون المرحلة المتحركة فيه غازية . واستخدم جامس ومارتن مرحلة سائلة من زيت السيليكون وحامض الستارك الذي يدفع عاموداً من الكيسلغور Kieselgubr لفصل مرحلة بخارية مكونة من حوامض دهنية متطايرة تتحرك ضمن تيار من الأزوت . ان التركيب من حوامض الغازات المقذوفة ، قد قيس بفضل نظام كشف خاص .

اعتمد جامس ومارتن هذه التقنية لتحليل الامينات المتنوعة المتطايرة ولتحليل مثيلات البيريدين . واستخدم علماء الكيمياء البترولية هذا النمط من الاستشراب في تحليل خلائط الهيدرو كاربيرات المتطايرة . وهناك جهاز لدرجات الحرارة العالية قد صنع لتحليل خلائط بقايا الحوامض الدهنية .

وقد استخدمت تقنيات عدة لتسجيل التغيرات في تركيب الغاز السائل . إن الخلايا ذات التوصيل الحراري (الكاتارومتر) بدت سهلة الإستعمال بشكل خاص . وقد حقق الهنغاري س . كلاسون ميزاناً للكثافة الغازية ، في حين تمّ إستخدام محلل تحت الأحمر في مختبر مارتن . وهناك لاقطات أخرى تستخدم النشاط الإشعاعي ، والحرارة الذاتية ، والزخم السطحي ، والتأيين في لهب الهيدروجين ومقاومة التيار .

وبخلال السنوات العشرين الأخيرة أصبح الاستشراب في المرحلة البخارية ، بالنسبة إلى الكيمياء التحليلية ، أداة قوية ذات تطبيقات متنوعة ، واستعماله قد اتسع كثيراً . وبفضل هذا التصوير أمكن تحقيق تحليلات دقيقة عديدة وبشكل شائع : أجزاء البترول ، الحوامض الدهنية ، إلخ . ، ثم القيام بتحليل المواد الطبيعية التي كانت دراستها صعبة حتى ذلك الحين وعرضة

للأخطاء الكثيرة . مثلاً المواد ، الخفيفة الأثر ، والتي هي مسؤولة عن توازن رائحة البصل ، والفريز أو اللحم .

5 ـ النظائر في الكيمياء العضوية

استعمالها في التحليل ـ إن امكانية التحكم بالنظائر المركزة المستقرة أو ذات النشاط الاشعاعي قد أتاحت للتحليل كي يصل إلى تقدم كبير ، لم يكن بدونها ممكناً (راجع الفقرة II) . ان التطبيقات العملية التحليلية للنظائر تنقسم وفقاً لتقنيتين رئيسيتين هما : التحليل عن طريق التذويب النظيري والتحليل التنشيطي . وعلى العموم تفضل النظائر ذات النشاط الاشعاعي بالنسبة إلى التحليل التذويبي النظيري ، لأنها يمكن أن تكتشف بدون مطياف خاص بالكتل .

تقنيات تحديد التاريخ ـ ان طريقة تحديد التاريخ أو العمر بواسطة الكربون المشع قد وضعت سنة 1949 من قبل ويلارف . ليبي Libby من جامعة شيكاغو الذي استعمل واقعة ان الأجسام العضوية الحية تحتوي على نسبة ثابتة من الكربون –14 من أجل تحديد عمر المواد الحفرية الأثرية والجيولوجية . ولما كانت الحياة الوسطى للكربون –14 هي 5760 سنة ناقص أو زائد 50 سنة ، وان هذا العنصر لم يعد داخلاً ضمن تكوين النباتات والحيوانات بعد موتها ، فإن تراجع النشاط الاشعاعي يمكن ان يربط بعمر شيء يحتوي على كربون .

وقد استخدمت النظائر المشعة لتحديد عمر مواد أخرى . فقد استخدمت نسبة الاورانيوم –238 إلى الرصاص –206 لتحديد عمر الصخور التي تحتوي على الاورانيوم . واستخدم هارولد اوري Urey التغيرات الطارئة على المناخ عبر العصور الجيولوجية وذلك بقياس تركيز الطبشور من مادة الاوكسجين –18 . واستطاع ليبي ان يحدد عمر الماء والخمر والمنتوجات الزراعة الأحفورية وذلك بقياسه لما تحويه من تريتيوم أو الهيدروجين المثلث (^3H) .

V ـ الكيمياء المعدنية

1 ـ نهضة الكيمياء المعدنية

بخلال الثلث الأول من القرن العشرين لم تعرف الكيمياء المعدنية الا تطوراً محدوداً . فدراستها لم تكن تجذب كما تجذب دراسة الكيمياء العضوية أو الكيمياء الفيزيائية الباحثين الشبان . وخارج مفاهيم التوافق التي قال بها الفرد ورنر Werner والتي لم تفهم حقيقتها الا ببطء ، لم تثر الدراسات الملاحقة الا القليل من الاهتمام . وتغير هذا الوضع بسرعة في منتصف القرن . ان وجود نظريات مختلفة حول الاتصال أدت إلى دراسة العديد من المركبات التعدينية من أجل الحصول على عناصر تفسيرية قوية . وأتاح ظهور مسرعات الجزئيات استخدام النظائر المشعة لدراسة المسائل التي لم يكن بالامكان التطرق إليها حتى ذلك الحين . ان الاعمال الضخمة التي أدت إلى انتاج السلاح النووي قد أثارت طلباً ملحاً على العناصر وعلى المركبات القليلة الشيوع والتي كان لا بد من دراسة خصائصها بعناية . وأدى تطور الصناعة أيضاً إلى تطبيقات جديدة لعناصر متنوعة شائعة ، مع الكشف عن الاحتياجات إلى بعض العناصر التي كانت غير شائعة حتى ذلك

الحين . وبفضل هذه العوامل المختلفة ارتدى البحث في الكيمياء التعدينية أهمية وسار بقوة وبشكل لم يعرف من قبل ومنذ زمن بعيد .

2 ـ مشاكل البنية والتواصل

مركبات ورنر المعقدة ـ ان حالة الجمود التي هيمنت على الكيمياء التعدينية بقيت بخلال الثلث الأول من القرن العشرين وذلك بسبب غياب أو عدم وجود نظرية حول الاتصال الكيميائي . ورغم ان الكيمياء العضوية قد افتقرت هي أيضاً إلى مثل هذه النظرية ، فانها منذ 1860 قد حققت نجاحات ملحوظة بفضل النظريات البنيوية المنبثقة عن أفكار كيكولي Kekulé وبوتليروف Boutlerov ، وڤانت هوف وليبل Lebel وآخرين .

وبالمقابل المتخصصون في الكيمياء التعدينية الذين كانوا ينظرون إلى العديد من العناصر المختلفة ، وقعوا في الخطأ نتيجة اسرافهم في استعمال مفاهيم بنيوية قال بها المتعصبون للعضوية .

ان أعمال السويسري الفرد ورنر Werner (1866-1919) ، والتي بدأت في العقد الأخير من القرن 19 قد فتحت الطريق أمام كيمياء تعدينية بنيوية . وعمد ورنر إلى دراسة المركبات غير الطبيعية مثل الأملاح المزدوجة ومثل الهيدرات ومثل المركبات من الامونياك الجمعية . وانتهى بعد أن أخذ في الاعتبار توصيليتها ومختلف خصائصها الأخرى ، إلى الاستنتاج بأن أيون المعدن الرئيسي (وهو المركز المنسق) في هذه الجزيئات محاط بعدد ثابت ومتميز من الجزيئات ومن الايونات (سميت فيما بعد المجموعات أو الروابط) .

من ذلك انه ، في مُرَكَّب الصيغة $6NH_3.CoCl_3$ تحيط الجزيئات الستّة من NH_3 بايون الكوبالت مرتبطة به بما يسميه ورنر « الارتباطات الثانوية » لتشكل جميعاً الأيون $Co(NH_3)_6^{+++}$ الذي يمتلك درجة عالية من الاستقرار .

ان دراسات ورنر حول المركبات المعقدة من ايونات معدنية مع الآمونياك ، والهالوجينور والسيانور ، والنيتريت ، والاثيلين ديامين ، واوكز الات وغيرها من « الروابط » أدت إلى توافق مرضٍ بين الملاحظات التجريبية والنظرية البنيوية .

رغم ان التمييز الذي أدخله بين التكافؤات الأولية والثانوية لم يفهم ، قدم ورنر بعض الوضوح في الوضع الفوضوي الذي كانت عليه كيمياء المركبات المعقدة . وقد نجح في تصنيف الايونات المعدنية بحسب عدد المجموعات التي تحيط بها (مؤشر التناسق أو التنسيق) ، وفي التكهّن بالتوزيع الفضائي لهذه المجموعات ، توزيعاً مسطحاً ورباعياً وثمانياً ، الخ . وفي تفسير أشكال تشابه التركيب الملحوظ من قبله .

ما قدمته النظرية الذرية ـ ان تفسير تشكل الايونات المعقدة لم يلاق الا نجاحاً محدوداً جداً نظراً لأن نظرية البنية الذرية لم تسجل تقدماً ملحوظاً داخل الكيمياء بالذات . ان الرابط الازدواجي الموثق والمشابهة أو المماثلة بين بنية الغازات غير المتحركة وبنية الطبقات الالكترونية السطحية

يتيحان تفسير المركبات الايونية والتشاركية ، ولكنهما لا يستطيعان تفسير ارتباطات الايونات الاكثر تعقيداً .

في حوالي سنة 1920 ذكر سيدويك ان المزدوجات الالكترونية غير المقسومة المقرونة بذرات مثل الاوكسجين في الماء، والآزوت في الامونياك، والكبريت في الكبريتات، كلها مؤهلة ضمناً لكي تكون متصلة بذرات تمتلك قشرات الكترونية سطحية غير مكتملة . في مثل هذه الخلائط تقترن الذرتان في المزدوج بنفس الذرة ، انها حالة متناسق (أو ترابط اتساقي) .

وبخلال العقد الثالث من القرن العشرين فسرت البنية الذرية بواسطة الميكانيك ، وحالة كل الكترون قد تميزت بأربعة اعداد كمية : الرئيسي ، السمتي ، المغناطيسي والدوامي .

ان مبادىء الاستبعاد التي قام بها و . بولي أوضحت ان الكترونين في نفس النظام لا يمكن ان تكون اعدادهما الكمية الأربعة متشابهة في نفس اللحظة . ان قاعدة التعددية القصوى التي اعلن عنها ف . هوند Hund سنة 1925 ، افترضت أن الكترونات خاصة تملأ كل المدارات الشاغرة (والمسماة f ، d ، p ، s ،) في طبقة داخلية معينة قبل أن تقترن بالكترونات من دوامات متعارضة يمكن أن تستجد .

ان نظرية الارتباط بدأت عندئذٍ تنظر إلى قسمة الالكترونات لناحية ملء المدارات . عندما ينبثق الكترونان يجمعان الدوامات المتعارضة ضمن مدار معين عن ذرتين مختلفتين ينتج عن ذلك ارتباط ثنائي الكتروني . ان مسألة الارتباط الكيميائي قد عولجت من ناحية الميكانيك الكمي من قبل و . هايتلر وف . لندن سنة 1927 . وهذه الدراسة التي أجريت على جزيء من الهيدروجين قد وضعت من قبل بولنغ Pauling وسلاتر Slater فشملت أنظمة أكثر تعقيداً . ان تصور هايتلر ولندن ، المستلهم من الذرة أساساً ، تناول تركيز الالكترونات المقترنة بين ذرات مرتبطة وتناول الخصائص الاتجاهية للارتباطات وتناول بنية جزيئية تبرز طبيعة الذرية الأساسية في النظام . وهناك تفسير مختلف قليلاً قدمه ف . هوند ور . س . موليكن Mulliken وج . ي . لينار ـ جونس Lennard-Jones بواسطة مفهوم المدارات الجزيئية . هذه النظرية المؤسسة على سلوك الالكترون في الحقل المحدث بفعل النواتين في جزيء الهيدروجين ، ارتأت بناء جزيئات أكثر تعقيداً بجمع الكترونات داخل المدارات المتتالية كما في الأنظمة الذرية .

ودرس هؤلاء الباحثون سلوك الالكترونات المحتمل ، هذه الالكترونات المدخلة في الحقل الكهربائي الذي يحيط بنواتين واستنتجوا انه بالامكان الافتراض بأن نظام المدارات الجزيئية يدخل في عملية الربط أو الوصل . وتستطيع الكترونات الوصل عندئذٍ ان تتحدد بواسطة الاعداد الكمية الجزيئية مع الكترونين من الدوامات المتعارضة التي تحتل مداراً والتي تشارك في ارتباط النوى . هذا المفهوم يعطي وصفاً أقل وضوحاً للوصل ؛ الا انه أفاد في تفسير بعض انماط المركبات وخاصة المركبات غير المشبعة .

وقد فسر الباحثون المختلفون الالكترون بأنه دالة على موجة مقرونة بحركة مدارية من أجل الحصول على تفسير أفضل للخصائص وللاتصالات الالكترونية .

وقد لعب ماكس بورن في هذا المنظور دوراً مهماً بشكل خاص بفضل تفسيره الاحصائي لدالات الموجة . وقدم ج . ك . سلاترول - بولنغ مساهمات عديدة في تفسير بعض المركبات الخاصة بفضل الميكانيك الكمي .

ان مفهوم الرجع أو الصدى قد أدخل من قبل و . هيسنبرغ سنة 1926 من أجل تفسير الحالات الكمية في ذرة الهليوم . ثم وسع فشمل المسائل الجزيئية ، لأن البنية البسيطة والتوزيع الالكتروني لا يستطيعان تفسير خصائص الجزيء . هذا المفهوم الموضح بفضل أعمال سلاتر وبولنغ وأ . هوكل ظهر مفيداً جداً في الكيمياء المعدنية كما في الكيمياء العضوية ، حيث لا تتيح الصيغة البسيطة الجامدة تفسير كل الخصائص .

ان مفهوم السمة الايونية جزئياً كان أيضاً مفيداً في تفسير الأجسام ذات الخصائص الوسيطة بين خصائص المركبات الأيونية الخالصة وخصائص المركبات التشاركية الخالصة . في السنوات التي تلت 1930 نجح بولنغ في اثبات العلاقة بين السمة الايونية في ارتباط ما ، وبين الفرق في الكهربائية السلبية في الذرات المنظورة .

الارتباطات الخاصة - وضعت مفاهيم أخرى متعددة من أجل معالجة المسائل الصعبة في الارتباط الكيميائي .

ان نموذج الارتباط الهيدروجيني قدم من قبل و . لاتيمر Latimer وو . هـ . رودبوش Rodebush لتفسير الخصائص غير الطبيعية في الماء ، والحامض الفلور هيدريكي ، وفي الكحولات وفي بعض المركبات الأخرى . وبين سيدويك عن طريق المطيافية ، والتحليل البلوري ان الارتباط الهيدروجيني كان حاضراً في حالات أخرى عديدة . وأقر بولنغ ان مثل هذه الارتباطات لا تتكون الا بين ذرات كهربائية سلبية قوية مثل ذرات الفلور والاوكسجين والأزوت والكلور .

وهناك أنماط أخرى من الارتباط تثير الاهتمام أيضاً . من ذلك ان الارتباط بالكترون قد لعب دوراً مهماً في الجهود المبذولة لفهم بنية الهيدروورات البورية (نسبة إلى مادة البور) . كذلك الارتباط بين ثلاثة الكترونات وضع من أجل تفسير المغناطيسية الهامشية في جزيء الاوكسجين .

حالة الجمودية - ان استخدام البلورات كشبكات تفريق ذات أبعاد ثلاثة بالنسبة إلى الأشعة السينية قد جدّد دراسة البنية البلورية . وأتاح النجاح الحاصل في تفسير البلورات البسيطة مثل الهالوجينور القلوي ، والماس والغرافيت والكوارتز ، مباشرة دراسة الجوامد الأكثر تعقيداً المعدنية والعضوية (يراجع بهذا الشأن دراسة آ . غينيه ، الفصل IV من هذا القسم ، ودراسة ج . أ . روسل ، الفصل II من القسم الثالث) . وهناك أعمال مهمة بشكل خاص تناولت بلورات مركبات السيليكات والحوامض المتعددة مثل السيليكوتنغستات والفوسفوتونغستات ، الخ .

ان المفهوم المفيد لدراسة التشكل ، وخصائص واستقرارية المركبات الأيونية هو مفهوم الدورة الحرارية الديناميكية ، وهذا المفهوم أدخله م . بورن وف . هابر سنة 1919 . ان دورة

بورن ـ هابر تربط الطاقة البلورية بأبعاد حرارية ديناميكية أخرى مثل طاقة التأيين في المعدن ومثل التآلف الالكتروني غير المعدني ، ومثل حرارة تبخر المعدن ، وحرارة تفكك غير المعدن وحرارة تشكل المركب انطلاقاً من عناصر غازية ومشتتة .

الحالة المعدنية ـ في سنة 1916 قام هـ . آ . لورنتز بدراسة نظرية حول ترابط الذرات المعدنية ، وقد عاد بولي إلى هذه الدراسة بطريقة أكثر اقناعاً بعد عشر سنوات .

وبفضل الميكانيك الكمي أمكن تفسير المعادن كنوى ذرية (النوى محاطة بقشرات مشبعة بالالكترونات) محصورة في فضاء من الالكترونات يستعمل كقوة رابطة بين النوى ، وقد ظهر هذا النمط منسجماً ومتوافقاً مع التوصيلية الكهربائية ومختلف خصائص المعادن الأخرى .

وقد أتاحت بحوث لاحقة توسيع وتوضيح المفاهيم المتعلقة بخصائص الحالة الجامدة . الا ان هذا المجال ما يزال يحتاج إلى الاستكشاف ليكمل . فالمركبات بين المعادن كانت موضوع دراسات واسعة قام بها ج . تامان Tamman ، و . و . ل . براغ Bragg وهـ . آ . بيت Bethe ، وهيوم ـ روثني Hume-Rothney . ان الموصلات النصفية قد أثارت أيضاً تياراً مهماً من البحوث حول الحالة الجامدة (راجع بهذا الشأن دراسة آ . غينييه ، الفصل IV ودراسة ب . مارزين الفقرة VIII من الفصل IX من هذا القسم) .

3 ـ ملء وتوسيع الجدول الدوري

الثغرات في الجدول الدوري ـ في بداية القرن العشرين كان هناك عدد مهم من الثغرات في الجدول الدوري . ولم يسمح اكتشاف الغازات الجامدة الحيادية الذي جرى بخلال العقد الماضي من قبل و . رمسي Ramsay ، وج . و . ستروت Strutt (لوردرايلي ، 1842-1919) بسد أية ثغرة لأن هذه العناصر الجديدة قد وضعت مجموعة تكميلية (مجموعة O) في الجدول الدوري . ان العناصر ذات الاشعاع الناشط التي بدأ ظهورها يُكتشف قد طرحت مشاكل صعبة طيلة جهل الناس بأنها تشكل بدائل مختلفة لعناصر كان الكثير منها معروفاً من قبل . ان هذه الصعوبة قد زالت نهائياً باكتشاف النظرية isotopie .

اكتشاف العناصر الناقصة ـ بحوالي سنة 1920 كان هناك ستة مراكز شاغرة تتوافق مع العناصر 43 ، 72 ، 75 ، 85 ، 87 ، وكلها تسبق الاورانيوم (الذي هو العنصر 92) في الجدول الدوري .

ورغم ان غالبية هذه العناصر كانت قد اكتشفت قبل 1895 ، فإن عناصر الترابات النادرة ظلت تثير بعض الصعوبات . في بداية القرن لم يعرف الكيميائيون بالتأكيد عدد عناصر هذا النمط الذي كانوا مضطرين إلى افتراض وجوده . وحُلت المسألة سنة 1923 . ولكن منذ سنة 1914 بينت أعمال موزلي Moseley انه يوجد عنصر مجهول بين النيوديم والسماريوم (المرتبة 61 من الجدول الدوري) ان هذا العنصر قد بُحث عنه حوالي السنوات 1925 ، ولكن عدة ادعاءات متعلّقة باكتشافه بدت غير ذات أساس . وانه في سنة 1947 كشف ج . آ . مارنسكي Marinsky ول . ا . غلندينين

Glendenin وش . د . كوريل Coryell ، عنه في بعض بقايا الانشطار النووي . وأعطي اسم زوميثيوم يومئذٍ .

ان الخطوط الطيفية للعنصر 72 قد ذكرها ج . اوربين Urbain سنة 1922 في بقايا التربات النادرة . ولكن ن . بوهر ارتكز على النظرية الكمية ، فأكد انه لا يمكن ان يتعلق الأمر هنا بعنصر من عناصر التربات النادرة . فاقترح على ج . فون هيفيسي ان هذا العنصر 72 قد يتوجد في رُكاز الزير كونيوم . وبعد سنة 1923 نجح هيفيسي ود . كوستر Coster في عزل العنصر المجهول وهو الهافينيوم فأكد بالتالي هذه النبوءة .

ان اكتشاف العنصرين 43 ، و 75 قد أعلن سنة 1925 من قبل و . نوداك Noddack و إ . تاك Tacke وو . برغ Berg . ان هذه المطالبة بدت مبررة بالنسبة إلى العنصر 75 وهو الرانيوم ، ولكنها لم تتأكد بالنسبة إلى العنصر 43 . وقد تم اكتشاف هذا الأخير من قبل ي . سيغريه E. Segré وش . بيريه C. Perrier في عيّنة من الموليبدين Molybdène التي ظلت تُقذف طيلة عدة أشهر بالدوتون ضمن سيكلوترون . هذا العنصر الذي عُثر عليه فيما بعد ضمن بعض منتوجات انشطار الأورانيوم سمي تيكنيسيوم من قبل سيغريه وبيريه Perrier سنة 1947 .

وبين 1920 و 1930 أعلن عن اكتشاف العنصرين 85 ، و 87 على عدة دفعات . ولكن هذه المعلومات بدت غير صحيحة . وانه في سنة 1937 فقط استطاعت مرغريت بيري Perey في مختبر كوري ان تثبت يقيناً وجود العنصر 87 كناتج تفكك في مستحضر من الاكتينيوم . وسمي هذا المستحضر في بادىء الأمر اكتينيوم K من قبل م . بيري ، ثم أخذ اسم فرانسيوم . ومنذ 1940 حصل في جامعة كاليفورنيا كلٌ من د . ش . كارسون Carson ، وك . ر . ماكنزي Mackensie وسيغريه على العنصر 85 وذلك بقذف البيسموت بجزئيات α ألفا ولكن هذه النتيجة الأولية لم تتأكد الا سنة 1947 . وعندها سمي هذا العنصر أستات نتيجة عدم استقراره .

العناصر فوق الاورانيوم ـ في اللحظة التي تم فيها استكمال الجدول الدوري الكلاسيكي ، كان قد بدأ توسيعه إلى أبعد من الاورانيوم .

في سنة 1940 عزل أ . م . ماكميلان Mcmillan وب . آبيلسون Abelson من كاليفورنيا من ورقة من الاورانيوم كانت قد قُذفت بالنيترونات ، نظيراً يبث أشعة β (Betta) . وتبين ان هذا النظير هو العنصر 93 ، وسمي يومئذٍ نبتونيوم .

ان العنصر 94 (بلوتونيوم) ينتج ظاهرياً عن تفكك النبتونيوم الخاضع لأشعة Betta ، ولكن السلم المختصر الناتج عن التجارب الأولى المحققة لم يُفصح عن اكتشافه . وحضر منه ج . سيبورغ ، و آ . ش . واهل ، وج . ش . كينيدي كميات ملحوظة وذلك بقذف الاورانيوم بدوتون وفقاً لما يلي :

$$^{2}_{1}H + ^{238}_{92}U \rightarrow ^{238}_{93}Np + 2\,n$$

$$^{238}_{93}Np \rightarrow ^{238}_{94}Pu + e^-$$

ان مجموعة سيبورغ من جامعة كاليفورنيا حضرت أيضاً البلوتونيوم 239 ثم تبين انه قابل للانشطار بنترونات بطيئة . وبينت هذه المجموعة فيما بعد ان البلوتونيوم موجود في الطبقات الطبيعية من الاورانيوم ، الناتج ربما عن القذف التعرضي بنترونات أو الناتج عن تفكك الاورانيوم ـ 239 المنبثق عنه .

سنة 1944 ، حضّر سيبورغ ، ور . آ . جايمس و آ . غيورسو Ghiorso تباعاً العنصر 96 ، الكوريوم (بواسطة قذف البلوتونيوم ـ 239 بجزئيات ألفا) ثمّ العنصر 95 المسمّى أميريكيوم .

العنصر 97 (البركيليوم) حصل عليه سنة 1949 سيبورغ ، غيورسو وس . ج . طومسون بواسطة قذف الأميريكيوم ـ 241 بالهليونات . وفي سنة 1950 حضر الباحثون المذكورون مع ك . ستريت جونيور العنصر 98 (كاليفورنيوم) وذلك بقذف كوريوم 242 بالهليون . ان العنصرين 99 (انشتاينيوم) 100 (فرميوم) قد اكتشفا في العينات من عناصر ثقيلة منبثقة عن الانفجار الحراري النووي التجريبي الذي حصل في تشرين الثاني سنة 1952 . وهذا العمل الذي أنجزته مجموعات من كاليفورنيا هي : مختبر آرغون ومختبر لوس آلاموس لم يُكشف عنه في الولايات المتحدة من قبل لجنة الطاقة الذرية الاميركية الا سنة 1955 . وأشار إلى اسماء ستة عشر عالماً ساهموا في هذا الاكتشاف .

في سنة 1955 اعلن أيضاً غيورسو وب . ج . هارفي وج . ر . شوبين وس . ج . طومسون ، وسيبورغ انهم حضروا 17 ذرة من العنصر 101 الذي هو المنديليفيوم وذلك بقذف الانشتاينيوم ـ 253 بالهليونات . وأعلنت مجموعة دولية سنة 1957 انها اكتشفت العنصر 102 ولكن هذه النتيجة لم تتأكد . وفي سنة 1958 أعلن جيورسو وت . سيكيلاند وج . ر . والتون وسيبورغ عن انتاج هذا العنصر (بشكل نظير 254) وذلك بقذف الكوريوم ـ 246 بايونات الكربون 12 بواسطة المسرّع الخطي ذي الايونات الثقيلة في جامعة كاليفورنيا . وذكر ج . فليروف Flerov وفريقه في الاتحاد السوفياتي اكتشاف نظير مماثل بقذف البلوتونيوم بايونات الاوكسجين .

ان العنصر 103 (لورنتيوم) قد عثر عليه سنة 1961 غيورسو وأربعة من مساعديه في جامعة كاليفورنيا وذلك بقذف الكاليفورنيوم بنوى البور .

ان دراسة الخصائص الكيميائية في العناصر فوق الاورانيوم قد دلت على ان هذه العناصر هي على صلة وثيقة بالعناصر من السلسلة الثانية من التربات النادرة .

وهذه القرابة المعزوة إلى الاحتلال الكامل للمدارات 5f ، تشمل بالواقع عناصر قبلية تصل إلى الاكتينيوم وهو العنصر 89 ، ولكن المماثلة مع العناصر المطابقة ليست واضحة جداً . فقبل اكتشاف العناصر الاصطناعية عبر الأورانية مثل الاكتينيوم والثوريوم والبروتاكتيوم والاورانيوم ، كانت تعتبر مماثلة لعناصر النقل المنتظم .

4 ـ مجالات خاصة في البحوث

عناصر التربات النادرة ـ بخلال القسم الأول من القرن كان الاهتمام كبيراً بالعناصر من

التربات النادرة لأن مشابهتها القوية طرحت مسألة كيميائية شاغلة نوعاً ما .

في بداية القرن بقيت بعض الاستطلاعات محتاجة إلى الاكمال . فالسماريوم الذي أشير إليه سنة 1886 من قبل بوابودران ، قُسم إلى تربتين : السماريوم والاوروبيوم . وذلك من قبل أ . آ . ديمارسي سنة 1901 ، وفصل الايتروبيوم الذي اكتشفه مارينياك إلى نيوتربيوم (عُرف فيما بعد باسم ايتاربيوم) واللوتيسيوم من قبل ج . اوربين سنة 1907 . وحقق ش . أور فون ولسباك Welsbach هذا الفصل بالذات في حين ان اللوتيسيوم كان حُضر أيضاً في أميركا من قبل شارل جايمس .

وأصبحت الاكتشافات كلها حول التربات النادرة منتهية الآن الا بالنسبة إلى العنصر 61 . ولكن هذا الأمر لم يظهر مباشرة . فالاهتمام بهذه العناصر قد خف بخلال العقود التالية رغم متابعة بحوث منهجية في مختبرات اوربين وولسباك وجايمس وب .س . هوبكنز Hoppkins . ان توضيح بنيتها الالكترونية قد أتاح القول بأن تماثلها الشديد يعود إلى ان مداراتها 4f مشغولة بكاملها .

والبحوث المخصصة للطاقة النووية بخلال الحرب العالمية الثانية كشفت ان انشطار الاورانيوم يحدث اجزاء غنية بالنظائر التي تقع في منطقة التربات النادرة في الجدول الدوري . ولحسن الحظ أتاح وضع تقنيات تبادل فصل الكاسيونات في التربات النادرة بشكل مريح .

ومن تحديد هذه الكاسيونات في المركبات العضوية المعدنية بحالة السيترات ثم مراقبة الـ pH بصورة واعية أمكن تحقيق فصل العناصر في الارقام الذرية المتتالية بواسطة صمغ يتبادل الايونات . وبعد الحرب قام ف . هـ . سبيدنغ Spedding في المعهد الذري للدراسات في كلية ولاية أيوا في الولايات المتحدة بفصل هذه العناصر بكميات وافرة . وذلك من أجل مباشرة الدرس المنهجي لمعرفة الكيمياء والتعدين فيها .

التقدم في المعرفة وفي استخدام المعادن ـ في حين ان الكثير من العناصر لم تكن الا موضوع دراسات ضيقة ، فإن هذه الاعمال قد حفزت فجأة باكتشاف الانشطار النووي .

وأدى تطوير هذه التقنية إلى وجوب الحصول على معلومات دقيقة حول عناصر متنوعة لم تكن حتى ذلك الحين قد أثارت إلاّ القليل من الاهتمام . وأتاح هذا التطور أيضاً الحصول على عناصر لم يكن بالامكان عزلها من قبل ، الا بصعوبات كبيرة . ان البقايا الحاصلة اثناء انشطار الاورانيوم ـ 235 والبلوتونيوم ـ 239 قدمت كميات لا يستهان بها من النظائر الواقعة في المنطقة ، من الجدول الدوري ، بين الكريبتون والتربات النادرة . ان جاهزية النظائر المشعة قد حفزت أيضاً ، وفي كل المجالات من الكيمياء المعدنية العديد من البحوث التي لولاها لكانت صعبة ان لم تكن مستحيلة .

وتجدد الاهتمام وبرز بخلال القرن بالنسبة إلى بعض المعادن المعروفة منذ زمن بعيد ولكن ليس كثيراً لأنّها لم تكن موضوع درس الاّ بصورة عارضة . يضاف إلى هذا الاهتمام في أغلب الأحيان اهتمام بالاوساط الصناعية بحثاً عن معادن جديدة ذات خصائص غير معروفة أو الحصول على تطبيقات عملية لبقايا العناصر الموجودة في بعض الركازات الطبيعية .

رغم ان الانتاج الصناعي لـلالومينيـوم قد بـدأ في القرن التـاسع عشـر بفضل أسلوب هـال ـ هـرولت Hall-Héroult في تحليل الألـومين المذاب في الكـريـوليت المـذوب ، لم يكتسب هـذا المعدن أهمية حقيقية الا بعد نهضـة الطيـران . فهو يستعمـل بشكل خـاص بشكل مـزائج alliages خفيفة ذات مقاومة قوية ، نحصل عليها بإضافة النحاس ، والمنيزيوم والمنغنيز .

وهناك معدن آخر خفيف ، المنيزيـوم ، ارتدى أهميـة مع تـطور الطيـران . وقد انتج باديء الأمر ، في المانيا وفي الولايات المتحدة ، انطلاقاً من محلول الملح المركز Saumures ، وبفصـل كلورور المنيزيوم عن الاملاح الأخرى بالتبلر ، ثم بالتحليل كهربائياً . وبخلال الثلاثينيات ، بدأت شركة دَوْ Dow الكيميائية باستخراج المنيزيوم من ماء البحر . وماء البحر الذي يحتوي على 0,13% من ايونات المنيزيوم ، قد عولج في باديء الأمر بالكلور . ثم يُهوّى لتغيير مكان البروم ، ثم يعـالج أخيراً بالكلس لكي يرسب المنيزيـوم بشكل هيـدروكسيد ؛ ويقلب هـذا الناتـج الأخير إلى كلورور المنيزيوم الـذي يسحب ماؤه ، ثم يحلل بـالكهربـاء . وبخلال الحـرب العالميـة الثانيـة ، حضـر المنيـزيوم أيضـاً بتكلس كربـونات المنيـزيوم ، ثم تقليص الاوكسيـد الحاصـل بالحـديد الصـواني (أسلوب بيـدجون Pidgeon) او بـالكربـون (أسلوب هنسغيرغ Hensgirg) . الا ان أيـاً من هـذه الأسـاليب لم يعش بعد هذه المرحلة ذات الاحتياجات الكبرى .

والتيتان ، وهو العنصر الثاني في تـرتيب الغزارة في القشـرة الأرضية ، مـزود بمقاومـة ممتازة عند السحب وهو ذو ثقل نوعي يكاد ينوف على ثقل الالومينيوم . ولكن استخدامـه صناعيـاً محكوم بفعل صعوبة استخراجه . وتم التوصل إلى نجاح جزئي في هذا السبيل على يد و . ج . كرول W. G. Kroll الذي استطاع تخفيض كلورور التيتان بالتسخين مع مزيج من المنيزيوم والصوديوم في جو جامد من الأرغون أو الهليوم .

ان أسلوب كرول قد اعتمد أيضاً في تحضير الزيركونيـوم من أجل استخـدامه في المفـاعلات النووية . ولكن ركـازات هذا المعـدن ملوثة بـآثار من عنصـر مجاور هـو الهافنيـوم ، المزود بـطاقة امتصاصية قوية للنيترونات ، والذي يجب من جراء هذا استبعاده تماماً قبل استخدام الزيركينيـوم . وكانت هذه الصعوبة في أساس بحوث واسعة جداً حول خصائص الزيركينيوم والهافنيوم .

وحدهما معـدنان قلويـان ، الصوديـوم والليثيوم قـد انتجا بكميـة تستحقّ الذكـر . واستعمل الليثيـوم في استخـراج عـامـل مخفض ، الهيـدرور المضـاعف ، من الالـومنيوم ومن الليثيـوم ($LiAlH_4$) ، وهيـدرور الليثيوم LiH ، وهـو مصدر قـوي للهيدروجين يسهـل نقله . وصنع القنـابل الهيدروجينية قد استعان بشكـل واسع بـالليتيوم ، كمصـدر لمعدات الـذوبان عنـد تحويـل النظائـر الهيـدروجينية إلى هليـوم . ويبقى الصـوديـوم ، مـع ذلـك ، المعـدن القلوي الأكثر استعمـالاً . ويستعمل بشكل واسع في التركيب العضوي ، لصنع التترايتيل الرصاصي المستعمـل في الصناعـة البترولية ، وفي صنع الملوّنات والمستحضرات الصيدلانية . والصوديوم ، بشكل سائل ، يستعمـل أيضاً كمبادل للحرارة في المفاعلات النووية .

اشباه معادن تجارية جديدة ـ في حوالي منتصف القرن ، بقيت بعض أشباه المعادن ، حتى

ذلك الحين ، بدون دراسات دقيقة ثم أخذت تثير الاهتمام . تلك هي حالة الجرمانيوم والسيليسيوم والبور بشكل خاص .

لقد استخدم السيليسيوم ، منذ أكثر من قرن كعنصر في مزيج حديدي يقاوم الحوامض ، أو بشكل حديد صواني Ferrosilicium ، وكمحول في صناعة الفولاذ . ومنذ اكتشاف الترانزيستور ، أخذت الصناعة الالكترونية تطلب كميات ضخمة من السيليسيوم والجرمانيوم . ان درجة النقاوة العالية جداً المطلوبة لاستخدام هذه المعادن في بناء عناصر مزودة بخصائص مميزة ، اقتضت بحوثاً مهمة . وتحقيق تقنيات مثل التنقية بتذويب المنطقة fusion de zone (تقنية المنطقة المذوبة) أدى إلى التعرف في العناصر النقية جداً على خصائص لم تكن معروفة من قبل .

وقامت بحوث ناشطة أيضاً حول البور ، عندما ظهرت تطبيقات جديدة . ودخل هذا العنصر في تركيب بعض أنواع الفولاذ الصلبة . ونيترورات البور مفيدة بشكل خاص من جراء تشابهها مع الكربون . واحدها ينتج من جراء تحلل مركبات مثل تريامين البور $B(NH_2)_3$ ، يظهر نفس بنية الغرافيت البلورية . وآخر ، هو البورازون ، يملك بنية بلور الماس ، انما ذو صلابة أعلى . ومن المعروف انه عندما ترتبط ذرة من البور بذرة من الازوت ، يكون لهما نفس العدد من الالكترونات التي لذرتين من الكربون ، وان أحجام هذه المجموعات متماثلة . والمماثلة مع الكربون لوحظت فيما بعد في البورازين $B_3 N_3 H_6$ الذي تشبه بنيته بنية البنزين . ان مركبات من هذا النوع تسمى المتصافنة . ان مفهوم التصافن هذا يفسر المماثلات في الخصائص التي قد توجد بين بعض المركبات التوليفية التركيبية المختلة ظاهرياً .

هيدرور البور وهيدرور السيليسيوم ـ رغم أن العديد من الهيدرورات الصوانية قد اكتشفت في القرن التاسع عشر فقد بقيت هذه الأجسام بدون اهتمام خاص ، إلى أن قام آ . ستوك بدراستها في بريسلو وفي برلين ، ونظراً لخاصتها التطايرية والاشعاعية فقد لجأ ستوك إلى تقنيات في أعماله حول هيدرورات البور ، وهي مجموعة من المركبات يصعب تحريكها .

وأبسط أنواع الهيدرور البوري هو ما يسمى بالديبوزان $B_2 H_6$ ، وهو مركب كان موضوع دراسات عديدة من الناحية البنيوية . إن عدد الالكترونات المتوفرة من أجل الربط لا تكفي للوصول إلى أحد الانماط العادية من التشارك (Covalence) . وهناك ذرتان من الهيدروجين لهما وضع خاص ؛ والدوران حول الاتصال بور ـ بور Bore-Bore محدود . وقد حاولت نظريات مختلفة تفسير البنية الخاصة لهذا الجزيء : إرتباط بالالكترون (سيدويك ، وبولنغ) ، إرتباط بدون الكترون (ج . ن . لويس) ، بنية بشكل « جسر » (ديلثي Dilthey) ، ارتباط مزدوج بروتوني (بيتزر Pitzer) ونظرية مختلطة تتضمن قسيمة زوج من الالكترونات بين مدار الهيدروجين ومدارات ذرتين من البور (روندل Rundle) . وهذه المسألة التي تطرح نفسها أيضاً بالنسبة إلى بقية الهيدرورات البورية المعروفة ما تزال دون حل مُرضٍ بشكل كامل . فضلاً عن ذلك إرتدت هيدرورات البور أهمية كبيرة لما تتمتع به من طاقة تجعلها مواداً مفضلة لدفع الصواريخ .

إن الدراسات حول هيدرورات البور جرت في شيكاغو سنة 1940 على يد هـ . أ .

شليسنجر ، فأدّت إلى اكتشاف البور وهيدرور الالوميني $AL (BH_4)_3$ ثم اكتشاف بورو هيدرورات الصوديوم والبوتاسيوم والمعادن الأخرى . ان هذه المركبات وكذلك هيدرور الليتيوم والالومينيوم $LiAlH_4$ القريب جداً ، قد ظهرت كمصادر ثمينة للهيدروجين وللعوامل القوية المنقصة خاصة في الكيمياء العضوية .

السيليكونات ـ في مطلع القرن بيّن ف . س . كيبنغ Kipping من نوتنغهام أن تترا ـ كلورور الصواني يتفاعل مع منشطات غرينارد لتشكل الكلوريسيلان العضوي وهو مركب احتلت فيه مجموعات عضوية محل ذرة أو ذرات من الكلور حول ذرة السيليسيوم . وتتحلّل هذه المركبات بالماء بسهولة لتشكل مركبات أخرى تتكثف بشكل سيليكون وهي مكثفات ليفية معقدة تمتلك خصائص عجيبة بشكل خاص . وهذه المواد تستخدم صناعياً في صناعة الزيوت والورنيش واللدائن . وهناك مكثفات ليفية متشابهة تم الحصول عليها انطلاقاً من الجرمانيوم والقصدير .

مركبات الفليور ـ بعد اكتشافه من قبل مواسان Moissan سنة 1886 ، قلّما درس الفليور لسنوات طويلة نظراً لحدته وسمومينه .

وحدها أعمال ف . سوارتز Swarts في بلجيكا وو . روف Ruff في المانيا تستحقّ الذكر . في سنة 1907 حضّر سوارتز « الديكلورور ديفليوروميتان » . واستُخدم هذا المركب فيما بعد كمبرد حفز عندئذٍ البحوث حول الفليور ومركباته . وبعض المركبات العضوية التي استبدل فيها الهيدروجين كاملاً بالفليور بدت غير ناشطة تماماً فدخلت من جراء هذا في الاستعمال الصناعي المتنوع كعازلات كهربائية وكمزيتات ولدائن جامدة تماماً ، الخ .

VI ـ الكيمياء العضوية

1 ـ التوجّهات العامة في القرن العشرين

في بداية القرن العشرين ، كانت الكيمياء العضوية بدون منازع ، الخصوصية الكيميائية ذات الحيوية الابرز . ونهضتها عكست النجاحات التجريبية والنظرية المحققة في العقود الاربعة الأخيرة ، وهي حقبة أتاحت فيها المفاهيم البنيوية تحسين معرفة المركبات الكربونية . هذا الواقع أدى إلى التوسع السريع في صناعات الألوان التركيبية والمستحضرات الصيدلانية . ان هذا التطور الصناعي جرّ بدوره توسعاً جديداً في البحث الأساسي ، وذلك بتقديم العديد من المستحضرات الكيميائية المفيدة ، باعثاً على قيام طلب مهم على المستحضرات المعدة في الجامعات .

في الربع الأول من القرن العشرين كانت الكيمياء العضوية قبل كل شيء كيمياء عطرية ، عاكسة بذلك الاتجاهات البارزة في الصناعة ، وكون المركبات العطرية يمكن في أغلب الاحيان ان تحضّر في حالة من النقاوة مرضية ، بعكس المستحضرات الدهنية التي لم تكن تنقّى الا بصعوبة بالغة . وبخلال السنوات التالية ، لم يعد القطران أو القار هو المصدر الوحيد للمواد العضوية الخام ، والعديد من المستحضرات الكيميائية قد حُضرت أما من الغاز الطبيعي أو من البترول ، وأما على أثر عملية تخمير .

وحتى سنة 1930 احتفظ البحث في الكيمياء العضوية بنفس الميزة التي كانت لـه بخلال العقود الثلاثة الاخيرة من القرن التاسع عشر . ويمكن ان نذكر فيها ميلاً بارزاً جداً نحو تركيب مركبات جديدة ، ودراسة خصائصها . ولكن هذه الاعمال التركيبية ، قد جرت في أغلب الاحيان بشكل عشوائي خالص ؛ وانه بعد الحرب العالمية الأولى فقط قد تمت مباشرة طرق معالجة أكثر قرباً من النظريات حيث كانت مفاهيم أواليات التفاعل ، وحركية التفاعل ، والتفاعل المتبادل الكترونياً قد أخذت تلعب دوراً أساسياً . وادخال اعتبارات الكيمياء الفيزيائية غيّر ، بوضوحٍ اكبر ، طبيعة البحث العضوي ، عند تحول الانتباه ، في منتصف القرن نحو مفاعيل الحافزات ، والمذوِّبات ، والتركيز في ايونات الهيدروجين ومختلف انماط المراكز التفاعلية .

واستفادت الكيمياء العضوية أيضاً من تحسين الطرق القديمة التحليلية ومن استخدام اجهزة جديدة للتحليل . ان وسائل التحليل الميكروسكوبي التصغيري التي ادخلها برغل Pregl قد اتاحت اجراء تحليلات دقيقة ، دونما حاجة إلى عزل وإلى التنقية المسبقة لكميات كبيرة من المنتوجات . ان استعمال أدوات مثل البولاروغراف (المحلل الاستقطابي) ومقياس الطيفية التصويرية سبكترو فوتومتر) والمسجل الطيفي (سبكتروغراف) تحت الاحمر ، والسبكتروغراف الكتلي والمسجل التلويني (الكروموغراف) في مرحلة البخار ، قد أتاح الحصول بسرعة على المعلومات التحليلية التي لولاها لكانت صعبة التحقيق .

وعلى أثر استخدام هذه التقنيات وتبني هذه المفاهيم الجديدة أمكن ، في حوالي منتصف القرن ، حلّ بعض المسائل البنيوية ثم متابعة بحوث تركيبية اكثر فأكثر تعقيداً .

2 ـ تقدم التركيب

منشط غرينيار Grignard ـ من بين المناهج العديدة الجديدة التي أدخلت في مجال التركيب العضوي ، بدا تفاعل غرينيار Grignard من الاكثر مرونة .

ان هذا التفاعل قد اكتشف ، في الواقع ، في أواخر القرن التاسع عشر من قبل ب . آ . باربييه P. A. Barbier الذي استخدم مركبات عضوية زنكية اثناء البحوث التركيبية ، وقد اعيق لكون المركبين الوحيدين سهلي التحضير ، وهما الزنك ـ متيل والزنك اتيل ، سريعي الالتهاب جداً . ولاحظ ان مزيجاً من الهالوجينور دالكويل والمنيزيوم في الاثير يمكن ان يستخدم في أعمال التركيب محل الزنك ـ الكويل . وقام تلميذه فيكتور غرينيار Victor Grignard (1871 - 1935) بدراسة للتفاعل ، وقد درس في اطروحته للدكتوراه ، استخدام هذا المنشط في عدد من التراكيب ، وبخلال السنوات التالية ، بيّن غرينيار في نانسي ثمّ في ليون بأن المنشط المكون من الهالوجينور الكويل ـ منيزيوم يمكن ان يستخدم في العديد من التركيبات الهيدروكاربور ، الهالوجينور الكويل ، الكحول ، الحوامض الخ . وباشكال متنوعة ، كشف تفاعل غرينيار عن مدى نفعه في التركيبات المخبرية .

وبشكل يودور اثيل منيزيوم ، استعمل منشط غرينيار أيضاً في التحديد التحليلي للهيدروجين

المتحرك . وانجز تشوغايف Tschugaev وتلميذه زيروتينوف Zerewithinov طريقة مرتكزة على قياس الميتان المحرر .

التحويل ـ دُرِسَتْ الهدرجة المساعدة للمركبات العضوية ابتداء من سنة 1897 من قبل پول ساباتييه Paul Sabatier (1854 - 1919) ، ومن قبل مساعديه وخاصة ج . ب . سنديرنس J. B. Senderens .

بيّن ساباتييه ان النيكل المقسم إلى حبيبات دقيقة هو مساعد أو حافز فعال بشكل خاص من اجل هدرجة المركبات غير المشبعة في درجات حرارة عالية وتحت ضغط مرتفع . وأتاحت هذه البحوث تحقيق الهدرجة على مستوى عالٍ جداً ، وخاصة الزيوت النباتية ، من اجل انتاج الشحوم الغذائية .

على الصعيد التجريبي الخالص ، كانت الدراسات حول الهدرجة محدودة بالسلوك غير المنتظم الذي تسلكه المعادن المقسومة بدقة ، المستعملة كحوافز catalyseurs . ونجح م . راني M. Raney نجاحاً باهراً ، سنة 1927 ، حين صنع مزيجاً من الالومنيوم من شأنه أن يتحول إلى نيكل حافز أو وسيط ذي صفة موحدة .

وقامت بحوث حول الهدرجة تحت ضغوطات عالية بفضل ف . ايباتييف V. Ipatieff في الاتحاد السوفياتي ، أولاً ، ثم في الولايات المتحدة . وفي اميركا اجرى هـ . ادكينز H. Adkins أيضاً أعمالاً مفيدة حول الهدرجة . وكانت الهدرجة غير المساعَدة ، هي أيضاً ، قد درست منذ بداية القرن .

وأشَارَ ل . بوڤولت L. Bouvault وج . ل . بلان G. L. Blanc بشكل خاص إلى طريقتهما في تحضير الكحول انطلاقاً من الاستير Ester بتحويل القسم الحامض في الجزيء باستخدام فعل الصوديوم على الكحول الاثيلية . وكان بوڤولت أيضاً صانع اسلوب في تركيب الألْديد انطلاقاً من فورماميدات Formamides مطرودة أو منزوعة بفعل منشطات غرينيار Grignard .

ومنذ 1940 اكتشف هـ . أ . شليسنجر ومعاونوه مخفضات ناشطة للغاية مثل هيدرور البور والليثيوم وهيدرور الالومينيوم والصوديوم . واتاح هذا الجسم الاخير تخفيضات ذاتية خاصة كتخفيض مجموعة كربونيل في مركب يحتوي على اتصال مزدوج . وكان استعمالها قد تمَّ بفضل هـ . ش . براون H. C. Brown .

تكثيف ديلز ـ الدر Diels - Alder ـ لقد حصل في سنة 1928 اكتشاف مفيد جداً بفضل هـ . ديلز Diels وف . الدر Alder اللذين لاحظا ان البوتاديين يتكثف مع الأنيدريد ماليبك ليعطي حامض تتراهيدروفتاليك .

واوضحت دراسات لاحقة وجود تفاعل عام جداً يتضمن الاضافة (1 - 4) من الدينات (Diènes) الى مركبات اثيلينيكية نُشطَ تعطشها بمجموعات كربونيلية ، وكربوكسيلية ، ونيتريلية أو نيترو .

النجاحات التركيبية في نصف القرن ـ نحن لا نستطيع ذكر التفاعلات العديدة الاخرى المحققة بخلال القرن العشرين . ولكنا نكتفي بالقول ان التنوع الكبير في الامكانات التي قدمتها التفاعلات قد اتاح تحقيق تركيب جزيئات ذات تعقيد كبير .

وهذه بعض امثلة على الانتصارات التي حققها التركيب العضوي : تركيب الريبو فلافين (حققه بصورة مستقلة كارر Karrer ور . كوهن R. Kohn) ، حامض الاسكوربيك رايخستاين Reichstein (هاروث) ، تركيب الفاتوكو فرول Tocophérol - ∝ أو الفيتامين E (ب كارير Karrer ، آ . طود A.Todd . ول ا . سميث L. I. Smith) ثمّ تركيب الفيتامين K (دوازي Doisy فيزر Fieser) ، تركيب الكينين (وودورد Woodward ودورنغ Doering) ، وتركيب الكورتيزون (سارت Sarett) ، وتركيب الناركورتين ، والالكوليد من مجموعة الانـدول والتروبينونات (ر . روبنسون R. Robinson) ، وتركيب الباتولين ، والستريكنين (وودورد Woodward) والكلوروفيل (وودورد وسترل Strell) وحامض الفوليك (والر Waller) ، الخ .

وفي العديد من الحالات ، تبع تركيب مركب ما اكتشاف بنيته . وعموماً ، ان هذا التركيب اقتضى مراحل عدة وسيطة ، تقتضي جهداً كبيراً أولياً تنظيمياً قبل المباشرة بالعمل المخبري فعلاً .

ولاجتياز مرحلة من هذه المراحل ، تستطيع الكيمياء التركيبية ان تختار بين العديد من انماط التفاعلات المعروفة ، ويمكنها ايضاً ان ترتكز على مفاهيم نظرية أصيلة ، أو على منشطات جديدة ، وعلى اجهزة مبتكرة أو على مساعدات تحليلية ، مثل المطيافية تحت الحمراء . ومن التقنيات الحديثة الاكثر خصباً استعمال الاجسام الميكروسكوبية لتحقيق بعض المراحل التركيبية ، وهي طرق ثمينة للغاية في بعض الحالات حيث لا تستطيع الاساليب الكيميائية العادية أن تؤدي الا الى مزائج راسيمية (Racémique ـ نوع من انواع الحامض تارتريك) .

3 ـ التطورات النظرية

الارتباط الالكتروني ـ ان مفاهيم لويس Lewis ولانغموير Langmuir وكوسل Kossel فيما يتعلق بارتباط الذرات بمزدوجات الكترونية قد لعبت ، سريعاً ، دوراً مهماً في الكيمياء العضوية . وقبل هذا ، عرف الارتباط بين الذرات بوضوح ، ولكن طبيعته بقيت غير موثوقة . وبواسطة المزدوجات الالكترونية ، امكن النظر في الارتباط ، من وجهة نظر فيزيائية ، وبذات الوقت امكن الحصول على فهم افضل للقوى المتعلقة بالارتباط ، وبسلوكها . وشارك سيدويك Sidgwick مشاركة مهمة في هذا الدخول للمفاهيم الالكترونية في الكيمياء العضوية .

ان الفروقات في النشاطية وفي مفاهيم المذيبات ، والمساعدات والمنشطات قد دلت بان المزدوج الالكتروني كان في أصل العديد من القوى الداخلية في الجزيئات وفيما بينها . ولفت ج . لويس الانتباه الى مختلف المركبات ، مثل الكحول المتيليك ، وكلورور المتيل والمتيلامين ، حيث يخلق الجذب الذي تمارسه المزدوجة الالكترونية على الكربون وعنصر آخر ، عزماً ثنائي القطب dipolaire قابلاً للقياس .

ان الدور الذي لعبته الالكترونات في التفاعلات العضوية قد درس من قبل ر . روبنسون وش . ك . انغولد C. K. Ingold من اجل توضيح الدور الذي تلعبه مراكز الكثافة الالكترونية القوية والضعيفة داخل المنشطات العضوية . ان هذه الدراسات ادت الى ادخال مفاهيم مثل مفهوم « الآثار الحاثة » (حيث تأثير الذرة القريبة يؤدي الى سحب أو الى تحول الالكترونات) ومفهوم الاثار الميزوميرية (Mésomères حيث يقترن ثبات نظام ما بتطاير الالكترونات) . ان نظرية الحوامض والقواعد (Bases) التي قال بها لويس قد لعبت أيضاً دوراً مهماً في الكيمياء العضوية .

وقد اتاحت تفسير الآثار المساعدة في المركبات مثل : $AlCl_3, Zn\,Cl_2, Fe\,Cl_3, BF_3$ ، باعتبار ان كلا من هذه المركبات كحامض لويس ، اي كقابل للمزدوجات الالكترونية ، المتأتية من قاعدة من قواعد لويس : $(CH_3)_3\,N: + BF_3 \rightarrow (CH_3)_3\,N: BF_3$. وهناك العديد من الامثلة الاخرى الجمعية امكن ايضاً تفسيرها بفضل هذه النظرية .

واطلق انغولد اسم نيكليوفيل على المنشطات التي تعطي الكترونات أو تتقاسم هذه الالكترونات مع منشط آخر . والمنشط الذي يقبل مثل هذه الالكترونات يسمى الكتروفيل (أو محب للالكترونات) .

الجذور الحرة Radicaux Libres ـ تتجه الجذور الحرة لتأخذ مكاناً مهماً في أواليات التفاعلات العضوية ، في حين انه في أواخر القرن التاسع عشر ، كان الشائع ان مثل هذه الجذور ليس لها وجود .

في هذه الحقبة حاول م . غومبرغ M. Gomberg ان يحضر الهكزا ـ فنيل ـ اتان بتأثير الفضة على الكلورور تري ـ فنيل ـ متيل . وقد اظهر المستحضر الحاصل نشاطية غير متوقعة تجاه الاوكسيجين والهالوجينات ؛ وكشفت البحوث وجود تري ـ فنيل ـ متيل $(C_6\,H_5)_3\,C$ كجذر حر . وباستخدام مجموعات أخرى « اريل » Aryle ، نجح غومبرغ في وضع نموذج متماسك في تشكيل الجذورالحرّة ،لأنّ مجموعات أريل مزعجة جدّاً فلا يمكن لـ« إيتان » مستبدل سداسياً أن يكون مستقراً في حالة المحلول . واللون المضاف إلى محاليل أمثال هذه الجذور الحرّة قد ارتبط أخيراً بوجود الكترون أعزب في الجذر .

ورغم أنّ جذوراً أخرى حرّة قد حضّرت بخلال السنوات التالية ، فلم يركّز الانتباه في بادىء الأمر على تدخّل مثل هذه الجذور المحتمل في التفاعلات العضوية . وفي سنة 1925 ، استعان هـ . تايلور بالجذور الحرة ، خلال دراساته حول هدرجة الاثيلين تحت تأثير الضوء فوق البنفسجي . وبيّن ف . بانث F. Paneth في المانيا وف . و . رايس F. O. Rice في الولايات المتحدة ، عن طريق تهجير المرايا المعدنية ، ان جذوراً حرة ، ذات وجود عابر ، تتشكل خلال تفاعلات الحلّ الحراري Pyrolyse ، وانها تستطيع بصورة عابرة ان تعطي مركبات متطايرة مع المعدن . ان حسابات الميكانيك الكمي اثبتت ان مثل هذه الجذور يمكن ان تكون مستقرة ، رغم ان طاقات ذات تنشيط بسيط تجعلها ناشطة للغاية . وطورم . كاراش M. Kharasch في الولايات

المتحدة استعمال اواليات بفضل جذور حرة في تفسير التفاعلات العضوية .

وقد لوحظ انه في العديد من الحالات تتدخل مثل هذه الجذور في أواليات التفاعلات التسلسلية . من ذلك مثلاً ان تفاعلات الهلجنة Halogénation المحثوثة بالضوء تتسارع بشكل ضخم بعد تفاعل كيميائي ضوئي Photochimique اساسي حاملاً الهالوجين على الانفصال أو التفكك .

الكيمياء المجسمة Stéréo Chimie ـ ان نظرية ذرة الكربون الترايدريك التي وضعها فانت هوف ولوبل Le Bel سنة 1874 ، قد لعبت دوراً مفيداً جداً في تفسير تشكل (ترسم) المركبات الناشطة بصرياً . ان أعمال اميل فيشر E. Fischer حول بنية السكر البسيط تمثل تركيباً رائعاً من البحث التجريبي والتفكير النظري من أجل حل مشكلة بنيوية معقدة . ورغم ان كل البحوث اللاحقة قد استفادت من هذه الأعمال ، فإن أياً من الدراسات حول الكيمياء التجسيمية في القرن العشرين لم يعادل عبقرية عمل فيشر في أواخر القرن التاسع عشر .

ان القرن العشرين قد شاهد اتساع لائحة المركبات الناشطة بصرياً باضافة بعض الانماط التي امكن اخذ صور مرآوية لها ، رغم عدم وجود اية ذرة من الكربون اللاتساوقي في الجزيء .

في سنة 1909 ، ذكر و . هـ . بركين W. H. Perkin الصغير وو . ج . پوب W. J. Pop وو . ولاش O. Wallach مُرَكَّباً كانت ذراته واقعة في سطحين عاموديين ، دون إمكانية الدوران . وقد تم اكتشاف العديد من حالات النشاط البصري الاخرى ، وفيها تنبثق امكانية الحصول على جسمين متقابلين Antipodes من لا تناسق مقرون ، اما بنظام ثابت من الدورات (كما هو الحال في السبيران Spiranes) واما في ترتيب ذي اتصالات مزدوجة (ألين allènes) . ويحدث التجازؤ isomérie البصري ايضا عندما يمنع الدوران الخاص حول جامع يجمع بين نواتين عطريتين ، بفعل مجموعات ضخمة ذات وضع عامودي أو مستقيم (ortho) (اتروبو ـ تجازؤ) وقد يرتبط التجازؤ بنظام متعدد الدورية يمكن ان يعتمد بنية حلزونية .

وبذلت جهود ضخمة في مجال المساهمة البصرية في المراكز غير المتناظرة (asymétriques) الفردية . وبدت اعمال ك . س . هودسون K.S. Hudson في اميركا وأعمال ك . فرويدنبرغ K. Freudenberg في المانيا مهمة بشكل خاص في هذا المجال .

وارتكزت التشكلات Configurations المطلقة ولمدة طويلة على أسس عشوائية . ولكن في سنة 1951 نجح ج . م . بيجفوت J. M. Bijvoet وآ . ف . بيرديمان A. F. Peerdeman وآ . ج . ڤان بومل A. J. Van Bomel في التأكيد على صحة المنهج الاصطلاحي بفضل الاستعانة بالاشعة السينية في دراسة بلور ترترات الصوديوم والرويديوم . وبالارتباط مع مركبات أخرى ناشطة ، أمكن تحديد التشكّلات المطلقة للستيرويدات Stéroides والتربينوييد Terpénoïde .

التحليلات التشكلية (Conformationnelles) ـ ادخل هاورث Haworth مفهوم التوافق Conformation لكي يدلّ على الترتيب الفضائي للذرات المكوِّنة في مواجهة ذرات الكربون

المتجاورة المضمومة بارتباط بسيط .

وبسبب الدوران الحر حول رباط بسيط ، فان هناك عدداً غير محدود نظرياً من التوافقات يتطابق مع جزيء معيّن . والواقع ، وبسبب التغييرات في الطاقة ، التي تظهر فيما بين مختلف التوافقات ، فان بعضاً منها تبدو اكثر احتمالاً . مثاله ، قد تبين ان التوافق المستقر في الميزو ديبروموستيلبين Méso-dibromostilbène هو التوافق الذي تكون فيه مجموعات الفنيل بعيدة ما أمكن الواحدة عن الاخرى (صورة رقم 25) .

صورة 25 ـ صيغة الميزو ـ ديبروموستيلبين.اسقاط الصيغة التي تبيّن في الطرف الرابط الذي يجمع بين ذرّتي الكربون غير المتناظرتين . وتمثّل الخطوط الملآنة الارتباطات المتعلّقة بالذرّة الكربونية الأمامية ؛ أمّا الخطوط المنقّطة فتمثّل الارتباطات المتعلّقة بذرّة الكربون الواقعة في الخلف .

Br H

C_6H_5 C_6H_5

H Br

وقامت دراسات عديدة توافقية تتناول الانظمة الدورية غير السطحية .

من ذلك مثلاً حالة السيكلو هكزان ، وفيه ثبت منذ 1890 إمكان وجود متجازئين isomères ، عرفا باسمي « على كرسي » ، و « على مركب » . وكون هذين المتجازئين مستعصيين على الفصل ، يدل على عدم قابليتهما للتحول ، ولكن جميع الدراسات بيّنت استقرارية الشكل « على كرسي » خاصة في الأنظمة المتعددة الدورات Polycycliques كما يظهر في الستيرويد .

ان التحليل التوافقي ، الذي طوره بشكل خاص د . هـ . بورتون D. H. R. Burton قد لعب دوراً مهماً في دراسة البنية ، وفي تفاعلات الستيرويد والتريتربين Triterpènes ، والقلوانيات والغلوسيد . واذا لم يستطع التحليل التوافقي منفرداً ان يثبت الكيمياء المجسّمة Stéréochimie في الجزيئات المعقدة ، فإنه على الأقل وبالارتباط بعلم التبلّر الراديوي ، وبالمطيافية Spectroscopie الامتصاصية ، وبمجمل الاحداث الكيميائية ، قد شكّل اداة قوية في خدمة عالم الكيمياء العضوية .

4 ـ المنتوجات الطبيعية

في مطلع القرن العشرين ، تمّ الحصول على عدد لا بأس به من الاعمال المخصصة لتركيب الشحومات ، والتربينات terpènes والقلويات ، والسكاكر ، والبورينات Purines والبيريميدينات Pyrimidines والبروتينات ؛ ومع ذلك فان العديد من المسائل المعلقة بهذه المركبات بقيت بدون حل . ثم ان أعمال البيوكيميائيين لفتت انتباه علماء الكيمياء العضوية إلى مركبات مثل الستيرويد والكاروتينوييد ، والفيتامينات ، والحوامض النووية والهرمونات .

الغلوسيدات Les Glucides ـ في مطلع القرن العشرين ، ورغم الاعمال الممتازة التي قام بها . فيشر حول بنية الغلوكوز بقيت مسائل مزعجة تطرح نفسها . فقد ثبت وجود نوعين من المتيل

الغلوكوزي ، بفضل فيشر الذي زعم ان هـذه الجزيئات تحتوي على حلقـة تحتوي الاوكسجين ، انما دون ان يوسع هذا المفهوم ليشمل بذات الوقت الغلوكوز بالـذات . وبخلال الثلاثين سنة التي تلت ، تمّ القيام ببرنامج واسع من البحـوث حـول بنية السكـاكر ، وذلـك في مختبر الاميـركي ك . س . هودسون C. S. Hudson وفي المختبرات البريطانية العائدة لـ ت . بـوردي Th. Purdie وو . ن . هاورث W. N. Haworth ، وج . ك . ايرفين J. C. Irivine وأ . ل . هرست E. L. Hirst .

ان دراسة بعض مشتقات السكـر ، مثل استيـرات المثيل والبـانتا آسيتـات ، والمستحضرات الأسيتونية التجميعية ، قد أتاحت تحديد موقع قفل الحلقة في المستحضرات الطبيعية . واستخـدم هـودسون الحـامض الدوري ، بشكـل مفيد جداً ، فقرر طبيعـة المجموعـات النهـائيـة ، وطبيعـة التفرعات ونظام التسلسل في متعدّدات السكر (Polysaccharides) .

الشحومات والشمعيات ـ خـلال قسم كبيـر من القرن العشـرين ، بقيت الطرق التقليـدية في دراسـات الشحوم والشمعيـات سائـدة ، ثم ان كيمياء هـذه المنتوجـات الطبيعيـة لم تتقدّم الا ببطء شديد ، بسبب صعوبة فصل المركبات الاليفاتية المتقاربة جداً . ان فصـل هذه الاستيـرات المثيلية قد تحقق بشكل عادي بفضل تحسين أعمدة التقطير . ووضع ج . ب . بـراون تقنية فعـالة لفصـل الحوامض غير المشبعة بالتكثيف تحت درجة حراة منخفضة . وفي نفس الوقت قدمت بحوث مهمة حـول المـراحـل Phases ، اجريت في مختبـر هـ . آ . شـويت H. A. Schuette (جـامعـة ويسكونسن) ، معلومات مفيدة في مجال التحليل . وبواسطة الأشعة السينية درس آ . ك . شيبنال A. C. Chibnall تركيب العديد من انواع الزيوت الحيوانية والنبـاتية . وقـدّم حديثـاً ادخال التصـوير التلويني في البخار اداة جديدة وقوية لتحليل المزائج من الحوامض الشحمية .

المركبات الآزوتية ـ وبسبب الاهمية البيـولوجيـة البالغـة ، التي ترتـديها البـروتينات ، فقـد استكشفت كيمياؤها بقوة . في مطلع القرن ، كانت اكثرية الحوامض الامينية الطبيعية معروفة . الا ان بعضاً منها قد اكتشف في القرن العشرين ومنها : التريبتوفان Tryptophane (من قبل ف . ج . هـوبكنز 1901, F. G. Hopkins) ومنهـا البرولين Proline ، والهيـدروكسيبرولين والفـالين (من قبل إ . فيشر 1901, E. Fischer) والتيروكسين (أ . ك . كندالKendall ، 1915) ثم الميتيونين (مـولر Mueller ، 1922) والتـريـونين (و . ك . روز 1935, E. C. Rose) . وفي سنــة 1924 نشـر ت . ب . اوسبـورن Th. B. Osborne ، أولى الجـداول حـول تـركيب البـروتينـات ؛ من الحـوامض الامينية .

واهتم فيشـر كثيراً بـالبـروتينـات وبـالحـوامض الامينيـة بخـلال السنـوات الأولى من القـرن العشرين . وتعرف على وجـود تسلسـل هضمـوي ببتيـدي Peptidique بـين الحـوامض الامينية وفي البروتينات ونجح في تركيب ببتيـد متعدد الجـوانب يحتوي على ثمـاني عشرة وحـدة من الحوامض الامينية .

وتحتوي الحوامض الامينية المستخرجة من البروتينات مجموعـة كاملة امينيـة حول الكـربون α . ان وجود مثل هذا المركز اللاتناظري ادى إلى قيام مشاكل تشكيلية . وبيّـن ك . فـرويدنبـرغ K. Freudenberg انالانالين الطبيعي مرتبط بالحامض L(+)- اللاكتيكي ؛ ثم تقرر فيما بعد ان كل

الحوامض الطبيعية تمتلك التشكل L .

وتحديد تركيب الهيدروليسات من الحوامض الامينية ، بدا صعباً جداً إلى أن تم ادخال التصوير التلويني على الورق سنة 1943 (راجع الفقرة IV) . في سنة 1940 ، ادخل د. ريتنبرغ D. Rittenberg التذويب (التمديد) النظيري Dilution isotopique ، كاسلوب كمي في تحديد الحوامض الامينية .

ودل تطور تحليل المجموعات النهائية terminaux على مرحلة أساسية في دراسة سلسلة الحوامض الامينية في جزيئات البوليبتيد والبروتينات .

وفي سنة 1945 ، استعمل ف . سانجر F. Sanger في كمبريدج 2,4 - دينيترو - فليورو - بانزين لكي يدلّ على المجموعات الأمينية النهائية في الجزيء . وبعد التحليل الكهربائي ، تمَّ التعرّف على المشتق الملون في الحامض الأميني بواسطة التصوير التلويني في جزيء الانسولين .

الستيرويدات Steroïdes - بالرغم من ان مركبات مثل الكولسترول والحوامض الصفراوية قد كانت في السابق موضوع العديد من الدراسات ، فانه في حوالي سنة 1920 فقط اتاح التقدم المحقق في الكيمياء العضوية بحقٍ ، معالجة مشكلة بنيتها .

وقبل سنة 1930 ، اقترح آ . وندوس A. Windaus من غوتنجن وهـ . و . ويلند H. O. Wielend من ميونيخ ، وهما يدرسان بذات الوقت الكولسترول وحامض المرارة ، اعتبارهما كانظمة تراسيكليك Tétracyclique ، وخطرت لهما فكرة صحيحة نوعاً ما حول التجمعات المرتبطة بهذه النواة . الا ان الدراسات اللاحقة بينت ان هذه الرسيمة البنيوية كانت خاطئة . ان نزع الهيدروجين من المركبات الحاصلة بفضل السيلينيوم ادى الى تشكل كميات صغيرة من « هيدروكاربور ديلز Diels » . وبعد توضيح طبيعة هذا المركب ، أمكن منها استخراج البنية الصحيحة للكولسترول ولحامض المرارة .

وقد بدا ان النواة الستيرويدية شائعة جداً في الطبيعة . وهي تدخل في مختلف الستيرولات والحوامض الصفراوية ، وكذلك في الهرمونات الجنسية ، والهرمونات القشرية الكظرية Corticales في الغدد فوق الكلية ، وفي الغلوكوسيدات المنشطة للقلب ، وفي الديجيتالين ، والسابوجينينات ، وبعض سموم الضفادع Crapauds (هـ . ويلاند Wieland . ول . روزيكا Ruzika .وو . نيومان W. Newmann) .

5 - نهضة الأدوية العضوية

في مطلع القرن العشرين ، كان هدف صناعة الكيمياء العضوية الاساسي تركيب الملونات ، المحصول على معظمها انطلاقاً من مركبات مستخرجة من الزفت القاري . وقد توصل الكيميائيون الالمان إلى تحقيق تركيب النيلة (الأنديغو) على المستوى الصناعي . وحاولوا ، وهم في أوج قوتهم ، ان يغيروا بعض الجزيئات لكي يستخرجوا منها مستحضرات مثمرة تجارياً . وبحثاً عن

تطبيقات جديدة للمستحضرات الوسيطة غير المستعملة ، استكشفوا بقوة كل المجالات ، وخاصة مجالات المنتوجات الغذائية والصيدلانية .

وهكذا تم ادخال منتوجات كيميائية في الصناعة الغذائية ، وخاصة كملونات ، وكمعطرات ومطهرات ، دون اعطاء الانتباه الكافي لمصلحة المستهلكين وبصورة خاصة دون الالتفات إلى حفظ صحتهم . وكان لا بدَّ من صدور تشريع يراقب استعمال مثل هذه المستحضرات ، في العديد من البلدان ، وذلك من أجل استخدام المواد المضرة . والواقع ان استصدار مثل هذا التشريع كان يقتضي في الغالب بحوثاً طويلة ، وحديثاً أيضاً ، لوحظت أذية وضرر بعض المواد الملونة غذائياً ، وضرر مبيدات الجراثيم ، والمستحضرات العطرية ، التي دخلت منذ زمن بعيد في الاستعمال . ولهذا تخضع المواد الجديدة الغذائية المقترحة اليوم لتجارب كيميائية وبيولوجية قاسية ، قبل الترخيص باستعمالها .

واستكشف المجال الصيدلاني بانتباه بالغ من قبل كيميائيي الصناعة من أجل البحث عن مصاريف جديدة لمستحضراتهم ، وتطور هذا الجهد عندما تمت معرفة المنشأ الميكروبي للعديد من الأمراض . الا ان الآمال كانت بطيئة التحقيق عملياً ، لأن المواد السامة بالنسبة إلى الميكروبات ، هي أيضاً سامة عموماً ، بالنسبة إلى اشكال الحياة العليا . والنجاحات الأولى البارزة في تركيب الأدوية ، تناولت مركبات تعالج الظواهر دون القضاء على الأسباب العميقة للأمراض : فالاسبيرين الذي أدخل سنة 1899 من قبل المصنع الالماني باير ، هو أول دواء مهم تم اكتشافه باثناء هذه البحوث .

مشتقات الزرنيخ ـ هناك نجاح جديد كبير تم في مجال الكيمياء الاستطبابية ، على أثر اعمال پول اهرليك Paul Ehrlich (1854-1915) . ان دراسات اهرليك حول الملونات ذات المفعول البيولوجي الانتقائي حملته على وضع مركبات عضوية زرنيخية بدت فعالة ضد بعض الميكروبات السولدة للأمراض Pathogène : السالفارسان أو المركب 606 ضد السفلس (1909) والنيوسالفارسان (1912) .

رغم ان بحوث اهرليك قد حفزت بقوة البحث عن عوامل أخرى كيميائية استطبابية ، الا ان النتائج قليلاً ما كانت مشجّعة .

قبل سنة 1930 ، قليلة هي الاكتشافات التي تستحق الذكر : منها المستحضر باير Bayer 205 الذي أدخل سنة 1920 لمعالجة مرض النوم ، والتيبارساميد ، الذي صنعته مؤسسة روكفلر سنة 1926 والمزود ببعض الأثر الشافي لمرض النوم ، ثم الكاربناسون ، وهو منتوج قريب كيميائياً من الأول والفعال ضد الزحار (الزنطارية) الاميبي ، الخ .

السولفاميد ـ سنة 1930 استحصلت مؤسسة ي . ج . فاربن I. G. Farben على رخصة بإنتاج البرونتوسيل ، وهو مستحضر صنعه ج . دوماغ G. Domagk ، بقصد معالجة الاصابات بالستريبتوكوكسيك والستافيلوكوكسيك . وادخل هذا الملون الأحمر سنة 1935 في الاستعمال العيادي . وبعد ذلك بقليل ، بين فريق مؤسسة باستور أنّ نشاط جزيئه مقصور على القسم

السولفاميدي منه . وعندها تمّ استعمال هذا المستحضر كدواء . وبين الكيميائيون في ماي اند باكر May and Backer في انكلترا ، عاجلاً ، ان استبدال أحد الهيدروجينات من مجموعة $(-SO_2$ $Nh_2)$ بمجموع عضوي يغير وفي أغلب الاحيان ينشّط مفعوله ضد الميكروبات العضوية . وتم الحصول على بدائل ، من مجموعات مختلفة مثل : البيريدين ، والتيازول ، الخ . ، ظهرت بسرعة في السوق . وانتصر التركيب وحقق أولى نجاحاته في مجال الكيمياء الاستطبابية .

ورغم استبدالها سريعاً بالمضادات الحيوية ، كانت السولفاميد في أساس مجال جديد في البحث الطبي عندما اثبت ب . فيلدس P. Fildes ود . د . وودز D. D. Woods في كمبريدج ان مجموعة السولفاميد تعمل كمضادات تضر بالايض . وهذه المجموعة مرتبطة تماماً بفيتامين هو حامض p– امينوبنزوييك ، الذي يعتبر أساسياً في تركيب حامض الفوليك [فيتامين ب 9] بفعل بعض البكتيريا . ان أيض هذه البكتيريا يختل بعمق عند حضور هذه المجموعة حتى ان البكتيريا المذكورة لا تستطيع تمييزه بوضوح من حامض p– امينوبنزوييك .

مضادات الملاريا ـ ان الكينين ، منذ اكتشافه ، سنة 1817 ، من قبل بلتييه Pelletier وكافنتو Caventou لم يستجلب انتباه الكيميائيين . الا انه بعد نهاية القرن التاسع عشر ، حصل تقدم كبير في تحديد هوية منتوجاته التقهقرية . وبذات الوقت ، تم اعادة تكوين بنيته بصورة تدريجية . وفي سنة 1931 ، تم تركيبه جزئياً من قبل ب . رابي P. Rabe . ونجح وودورد Woodward ودورنغ Doering في تركيبه كاملاً سنة 1944 ، انما بطريق معقد جداً ، فلم يصنع تجارياً .

وقامت بحوث مماثلة للعثور على بدائل للكينين . فكان البلاسموكين ، مشتق بعيد من الكينولبين ؛ وأدخل سنة 1926 من قبل ي . ج . فاربن I. G. Farben ، ولكن شدّة سموميته حدت من استعماله طبياً . وبدا الأتيبرين أو الكيناكرين ، وهو ملون اكريدي (acridique) ، الذي أدخل سنة 1932 ، أكثر فائدة . وبخلال الحرب العالمية الثانية ، قامت الولايات المتحدة بدراسة منهجية حول المستحضرات ذات الاثر المضاد للملاريا ، ولكن أياً من المستحضرات الاربعة عشر ألفاً التي أعدت وجربت لم تتفوق على الكينين والاتيبرين .

المضادات الحيوية ـ ان المفعول المضاد حيوياً للعطن ، بنسيليوم نوتاتوم ، قد لوحظ منذ سنة 1928 من قبل الكسندر فلمنغ الذي حاول ان يركز وان يعزل مادة البنيسلين ، التي رآها هي الاساس في هذا الأثر . ولم تنجح جهوده مباشرة ؛ ولكن في سنة 1939 ، تمت العودة إلى هذا العمل في أكسفورد من قبل فريق من الكيميائيين بقيادة هـ . و . فلوري H. W. Florey وإ . ب . شين E. B. Chain . وأدت هذه البحوث سنة 1942 إلى عزل مكثف ظهر فعالاً بشكل ملحوظ في التجارب العيادية . وعندها بذلت جهود في الولايات المتحدة ، من أجل انتاجه صناعياً .

في انكلترا وفي الولايات المتحدة ، تابع العديد من المختبرات ، وبنشاط الدراسة الكيميائية للبنيسلين . وسرعان ما لوحظ وجود عدة أشكال من البنيسلين ، لها نفس النواة ، انما تختلف في طبيعة السلسلة الجانبية . ولعبت الدراسات التصويرية البلورية التي قام بها د . ك . هودكن D. C. Hodgkin في انكلترا دوراً مهماً في توضيح بنية البنيسلين (1949) . وتعقيدات جزيئه لم تكن تتيح

تقدماً سريعاً في تركيبه . وفي سنة 1957 فقط توصل ج . ك . شيهان J. C. Sheehan وك . ر هنري ـ لوغان K. R.Henery-Logan في الماساتشوستس انستيوت أوف تكنولوجي ، إلى تركيب البنيسلين خمسة بشكل كامل . وبفضل دراسات منهجية اجريت بوسائل قوية تم بسرعة اكتشاف مضادات حيوية أخرى ، وتحقق انجازها بشكل تجاري . وقد طرح كلّ من هذه المركبات على الكيميائيين مسائل جديدة وصعبة : تنقية بنيتها ، محاولة تركيبها ، ثم ، بعد دراسة مفعولها الصيدلاني ، انتاجٌ محتملٌ ، بعد تغيير في الجزيء ، لاشكال تركيبية أكثر فعالية أو أسهل استعمالاً . وبخلال عدة سنوات تمّ اكتشاف الستربتوميسين ، والاوريوميسين ، والكولوروميستين ، والتتراسيكلين ، والتراميسين ، الخ . ووضعت في السوق التجارية ، وأدت البنية البسيطة نسبياً في الكلوروميستين إلى تصنيعه أو تركيبه صناعياً .

الادوية الهرمونية ـ على أثر الدراسات التي أجريت حول الهرمونات الجنسية ، من قبل دوازي Doisy ، وبوتيتان Butenandt وغيرهما ، حوالي سنة 1930 ، استعملت هذه المواد لمعالجة الاضطرابات المتعلقة بعدم الانتظام الهرموني (انظر دراسة و . دوبري R. Debré وج ديبوكوا G. Desbuquois الفقرة V من الفصل III من القسم الخامس) . ان استخراج هذه المركبات الناشطة ، انطلاقاً من البول أو من الغدد الحيوانية ، كان صعباً ، فلذلك انصب الاهتمام على تركيبها أو على تحويلها إلى أشكال أكثر فعالية . وتم ، في بادىء الأمر ، استخراج الاوستراديول ، بتحويل الاوسترون المستخرج من البول ، وبعدها تمّ تركيبه صناعياً انطلاقاً من الكولسترول ، وفقاً لاسلوب وضعه انهوفن Inhoffen في سنة 1948 .

لاحظ انهوفن ان النشاط البيولوجي يبقى عندما تنفتح الحلقتان الوسط في النواة الاستيرولية (Stérolique) فتم انتاج الهرمونات الجنسية بشكل تركيبي خالص مثل الدي ـ اتيل ستيلبوسترول . وصنع هذا المركب بدا سهلاً مكّن من استعماله بكثرة من أجل تسريع زيادة وزن الحيوانات للذبح ؛ الا ان هذا الاستعمال قد نظم بشدة في مختلف البلدان .

وتمّ أيضاً الانتاج الصناعي للعديد من الهرمونات من أجل الاستخدامات الطبية : مثل الكورتيزون والمركب المسمّى « أكث » A.C.T.H وغيرهما (وهناك دراسة اكمل للهرمونات قام بها ر . دوبري وج ديبوكوا في الفقرة IV من الفصل II من القسم الخامس) .

6ـ صناعة الكيمياء العضوية

في حين اقتصرت الكيمياء الصناعية العضوية ، عملياً ، في مطلع القرن العشرين على انتاج الملّونات والادوية ، الا انها في السنرات التالية توسعت حتى برزت في عدة مجالات . ففي حين ان معظم المستحضرات العضوية الصناعية كان حتى ذلك الحين يستخلص من مشتقات القار ، فقد تمّ استثمار مصادر جديدة تدريجياً . ففي حوالي منتصف القرن ، أخذ يتسع استخراج المستحضرات التركيبية انطلاقاً من الغاز الطبيعي ومن البترول . فضلاً عن ذلك ، أتاحت عمليات التخمير ، ليس الحصول فقط على الكحول الاثيلية ، بل وعلى الاسيتون ، والبوتانول والحامض السيتريك ، وعلى العديد من المستحضرات الأخرى ، وفي المانيا بفضل اسلوب برجيوس

Bergius وفيشر ـ تروبش Fisher-Tropsch ، تمّ انتاج كميات كبيرة من الهيدروكربونات والمستحضرات المشتقة انطلاقاً من الفحم . وأولى هذه الوسائل ارتكزت على الهدرجة المساعدة لليغنيت ؛ والوسيلة الثانية ترتكز على التحول المساعد إلى كحول ، وحوامض ، وهيدروكربون انطلاقاً من أوكسيد الكربون والهيدروجين الحاصلين من أثر بخار الماء على فحم الكوك بدرجة حرارة عالية . وبخلال الحرب العالمية الثانية ، استعملت هذه الوسائل في المانيا على نطاق واسع جداً ، لتركيب « البنزين » (essence) والشحومات الغذائية .

مستحضرات التكثيف ـ لقد أصبح السلّولوز ، إضافة إلى استخدامه في صناعة الورق ، المادة الأولى الأساس لانتاج مختلف انماط اللدائن (الرايون) (rayonne) والافلام السلّولوزية . ونجح الكيميائيون في تحقيق تركيبات أكثر كمالاً من الخيوط النسيجية .

فحصلوا على النيلون وذلك بدمج الهكساميتلين ـ ديامين ، بالحامض الأديبيك ، وحصلوا على الاورلون بتكثيف Polymérisation الاكريلونيتريل ، وعلى الدكرون (تيريلين) بدمج حامض تيريفتاليك مع الاثيلين غليكول .

وتحقق انتاج الكاوتشوك التركيبي بعد دراسة تكثيف الجزيئات مثل البوتاديين . وكذلك تم اكتشاف العديد من المواد البلاستيكية تباعاً ، انما بشكل عشوائي جداً في بادىء الأمر .

ان السلّولويد المستحضر بدمج النيتروسللوز والكافور Camphre ، قد وضع في السوق منذ سنة 1872 بفضل ج . و . هايت J. W. Hyatt . وتم تحضير لدائن كازيينية سنة 1897 بعد تكثيف الكازيين مع الفورمالديهيد . وفي سنة 1910 ، تم اكتشاف نمط من اللدائن أكثر أهمية هو الباكليت بفضل ل . هـ . باكيلاند L. H. Backeland ، عن طريق تكثيف الفينول والفورمالديهيد . وبُدىء فيما بعد بدراسة معمقة لطبيعة الجزيئات الكبيرة .وكانت هذه البحوث في أساس التشكيلة الكبيرة من اللدائن ، ومن الأنسجة والمواد المطاطة المتوفرة في وقتنا الحاضر .

المستحضرات الكيميائية الزراعية ـ لقد أحدثت البحوث حول الكيمياء العضوية انقلابات حقيقية في التقنيات الزراعية ، وذلك على أثر استخدام مستحضرات كيميائية في مكافحة الحشرات وغيرها من الآفات .

حتى سنة 1940 ، وفي مجال مكافحة الحشرات كان الاستعمال منصباً على السموم المعدنية ، مثل الزرنيخات والفلورات ، وعلى بعض المواد العضوية الطبيعية مثل البيرثر ، والروتينون والنيكوتين . ولاحظ ب . مولر P. Müller من مؤسسة جيجي Geigy في بال ، يومئذ ، الاثار السامة لـ ديكلورو ـ ديفنيل ـ تريكوريتان (D.D.T.) على الحشرات . واستعمل هذا المركب بشكل واسع ضد الذباب والبعوض والعث من قبل القوات العسكرية الحليفة . ثم ادخل فيما بعد في الاستخدام المدني . وحفز نجاحه البحوث المنهجية من اجل مبيدات جديدة للحشرات . وبخلال السنوات التالية ، تمّ انتاج العديد من مشتقات الكلور الهيدروكربوني ، وكذلك من مشتقات الفوسفات العضوية الشديدة السمومية .

ان ادخال هذه المركبات فرض عبئاً ثقيلاً على أجهزة المراقبة . فقد توجب على هذه أن

تدرس بانتباه أساليب اكتشاف البقايا التي تتركها هذه المستحضرات والتي يمكن أن تلوث الاطعمة ، وكان لا بد من متابعة البحوث الصيدلانية من أجل وضع قواعد استعمال حذرة .

ودلت البحوث حول الهرمونات النباتية ان مواداً مثل حامض الاندول بتاβ ـ اسيتيك تنظم نمو بعض النباتات (راجع بهذا الشأن دراسة ج . ف . لروا J. F. Leroy الفقرة I من الفصل VII من القسم الرابع) .

فقد لوحظ ان مركبات تركيبية خالصة مثل الحامض 2,4 ديكلورو فينوكزي استيك (2,4 – D) له نفس المفاعيل المشابهة ، ويمكن أن يستخدم في إبادة بعض النباتات الكثيرة الاوراق بتنشيط نموها بسرعة كبيرة . وأدّى هذا الاكتشاف إلى وضع العديد من المركبات المستخدمة كمبيدات للاعشاب . ان دراسة فيزيولوجية النباتات والكيمياء العضوية قد أتاحت أيضاً الحصول على مستحضرات تستخدم كمعوقات للنمو ، وكمسقطات للاوراق أو كمنضجات .

VII ـ البيوكيمياء

1 ـ حالة المعارف في سنة 1900

في مطلع القرن العشرين ، كانت الكيمياء الاحيائية (البيوكيمياء) ما تزال أساساً علماً وصفياً . وكان الاهتمام منصباً بشكل رئيسي على تركيب الاطعمة وغيرها من المستحضرات البيولوجية الأخرى . وكانت الدراسات حول الايض الطاقوي متقدّمة نوعاً ما ، على أثر الاعمال حول قياس الحرارة Calorimétrie الحيوانية التي حققت في أواخر القرن التاسع عشر ، ولكن معرفة دور العديد من مكونات الأطعمة بقيت بدائية أولية .

وبخلال الثلث الأول من القرن العشرين ، اتجه النشاط أساساً نحو مجال الهضم ، حيث لعبت متابعة الدراسات حول الفيتامينات والبحوث حول دور العناصر المعدنية دوراً مهماً في الصراع ضد أمراض العوز .

وفي حوالي منتصف القرن ، ارتدت الكيمياء الاحيائية منحى أكثر حيوية ، فوجهت الاهتمام أساساً نحو دراسة التفاعلات الايضية داخل الخلايا الحية . ان دور الانزيمات اكتسب من جراء هذا أهمية خاصة ، ووضعت تقنيات لمتابعة المراحل المتتالية في تحويل المكونات الغذائية إلى مستحضرات تأكسد بيولوجي .

2 ـ المعارف الجديدة حول التغذية

التعرف على أمراض العوز ـ في سنة 1900 عرف علم البكتيريا شهرة كبيرة ، واعتبرت البكتيريا عموماً أهم مسببات الأمراض . ومع ذلك فقد كان من المؤكد ان بعض الاضطرابات هي ذات منشأ غير بكتيري ، مرتبط بشكل خاص بنظام الغذاء أو بالوسط .

في كتاب نشر سنة 1753 ، بين جراح في البحرية البريطانية قيمة عصير البرتقال والحامض في مقاومة فقر الدم (داء الحَفَر) . وأثبت طبيب في البحرية اليابانية هوك . تاكاكي K. Takaki ،

حوالي سنة 1880 ، ان كثرة مرض البري بري [هو نقص الفيتامين ب] المحلوظ لدى البحارة قد يتقلص باستبدال الرز المقشور ، الذي هو أساس النظام الغذائي عندهم ، باللحم وبالخضار ، وأجرى ش . ايجكمان Ch. Eijkman ، مدير مختبر التشريح الفيزيولوجي والبكتيري في باتافيا ، سنة 1896 ، بحوثاً مهمة حول هذا الموضوع . وكان من المعروف أيضاً ان مرض الكساح قد يشفى بتناول زيت كبد سمك المورة وبالتعرض للشمس . ورغم هذه الحقائق ، فان غالبية الجسم الطبي ، لم تقدّر أهمية هذه العوامل الغذائية حق التقدير ، وعزت هذه الأمراض إلى أسباب بكتيرية أو غيرها .

وهناك براهين أخرى حول القصور الغذائي أخذت تتراكم على أثر تجارب أجريت على أنظمة غذائية مكونة من أطعمة مطهرة جداً وعلى حيوانات أخضعت لأنظمة غذائية متوازنة بالمواد الطبيعية .

وعلى هذا فقد لوحظ ان بعض القواضم كانت تعاني من الأغذية المركبة ، ولكن إضافة القليل من الحليب يعيد النمو الطبيعي والصحة والعافية . وذكر ف . ج . هوبكنز F.G. Hopkins سنة 1906 ان أنظمة غذائية قائمة على البروتينات المتقاة ، وعلى الشحوم ، وهيدرات الكربون وعلى أشباه المعادن كانت غير كافية بشكل ظاهر ، وان مواد أخرى كثيرة موجودة في الأغذية الطبيعية ضرورية للغذاء الجيد .

وفي سنة 1911 اثبت أ . ب . هارت E. B. Hart وي . ف . مكّولم E. V. McCollum وهـ . ستينبوك H. Steenbock وج . ش . همفري G. C. Humphery ان أنظمة غذائية مكونة من كميات متوازنة ومكتفية بالبروتينات ، والغلوسيدات ومن الزيوت المستخرجة من القمح أو من الشوفان لا تكفي لتأمين التغذية الطبيعية للابقار ؛ وان إضافة الذرة تكفي لإعادة التوازن بتوفير العوامل المكملة .

في سنة 1912 ، قدم الكيميائي الاحيائي البولوني كازيمير فونك Casimir Funk الذي كان يشتغل في معهد ليستر Lister اسم فيتامين [منشط] لهذه العناصر الغذائية الاضافية . وبعد أن عزل من قشرة الرز بعض المواد الآزوتية اعتقد ان المواد الواقية ضد مرض بري بري هي « امينات حيوية » وهو اسم اختصر فاصبح فيتامين ، عندما تبين ان بعض هذه العناصر ليس امينات .

الفيتامين A والجزريات Caroténoïdes ـ أتاحت تجارب متنوعة حول تغذية الحيوانات الصغيرة ، عموماً الجرذان البينوس ، إثبات وجود مواد مختلفة ، على الأقل ، بشكل ضئيل (آثار) في بعض الأغذية الضرورية للحصول على تغذية كافية . وبيّن مكّولم سنة 1913 ان عامل نمو ذوّاب في الدسم (الفيتامين A) موجود في الزبدة ، وفي صفار البيض وفي كبد المورة ، وربط ستينبوك فيما بعد نفس النشاط « بالحبوب الصفراء » وبالخضار . وافترض ان الجزرين (كاروتين) كان المادة الناشطة في الفيتامين A ؛ ولكن صعوبات التحليل منعت ، لمدة طويلة ، من تأكيد ، أو من نفي هذه الفرضية . والبحوث التي جرت على الاصباغ النباتية الجزرية ، وبخاصة من قبل ر . كوهن R. Kuhn ، وويلستاتر R. Willstatter في المانيا ول . زيشمستر L. Zechmeister في

هنغاريا ، دلت على وجود عدد من المركبات المتقاربة جداً . واتاح التصوير التلويني ، فيما بعد ، فصل هذه الاجسام المختلفة . ولوحظ يومئذٍ ان بعضاً من الجزريات لها خصائص الفيتامين A ، ولكن الاخرى كانت غير فعالة .

ان معادلة الكاروتين $C_{40}H_{56}$ أوحت بدرجة عالية من عدم الاشباع . وقد تأكدت هذه الفرضية سنة 1928 من قبل زيشمستر الذي وجد ان عشرة جزيئات من الهيدروجين تمتصها الهدرجة. وهكذا بان ان الجزيء يمتلك أحد عشر اتصالاً اتيلينياً ودورتين هكزينيتين héxéniques ، وتزاوج الاتصال المزدوج هو في أساس اللون الأصفر ، وبخلال السنوات التالية نجح زيشمستر في تفسير التجازئية « وراء ـ عبر » (Cis-trans) في الكاروتينات (الجزريات) الطبيعية . وأثبت پ . كارير P. Karrer من زوريخ الصيغة العامة في بيتا ـ كاروتين (β-carotène) بعد ان اكتشف وجود الدورة (بيتا ـ ايونون) (β- ionone) في المستحضرات المتأكسدة . وبيّن أيضاً تحول الكاروتين ألفا ∝ والكاروتين غما γ وبنية الاصباغ النباتية المتشابهة جداً ، أو المسماة كزانتوفيل .

وبعدها تبين ان الفيتامين A ينتج من اجتماع نصف جزيء من بيتا كاروتين مع مجموعة كحولية تقع في آخر السلسلة الطويلة الجانبية (ان دراسة الفيتامينات الاخرى قام بها ر . دوبري وج . ديبوكوا الفقرة III من الفصل II من القسم الخامس) .

أشباه معادن أساسية ـ ان دور العناصر شبه المعدنية في التغذية قد توضح تدريجياً بعد دراسات متقابلة آتية من اتجاهات متنوعة .

ان الحاجة إلى بعض العناصر ، مثل الحديد ، والكالسيوم ، والفوسفور واليود والصوديوم ، كانت سهلة التقرير ، رغم ان علاقاتها المتبادلة لم تتوضح بسهولة . والحاجة إلى عناصر أخرى ، مثل الزنك ، والماغنيزيوم والنحاس ، والمنغنيز ، والكوبالت والفليور ، كانت صعبة الاثبات ، جزئياً بسبب صعوبة اعداد أنظمة مفتقرة إلى هذه العناصر . وطُرحت مسائل أخرى في الفيزيولوجيا النباتية (راجع بهذا الموضوع دراسة ج . ف . لوروا ، الفقرة IV من الفصل VII من القسم الرابع) .

البروتينات والحوامض الاميّنة الأساسية ـ منذ القرن التاسع عشر ، لوحظ ان مواداً زلالية هي البروتينات كانت ضرورية للغذاء الجيد ، عند الكلاب ، ولكن نظاماً يستمد بروتيناته من الجيلاتين أو من الحبوب يبقى ناقصاً . وجرت محاولات عدة وتحليلات للبروتينات فأتاحت اثبات ان هذه المواد تختلف كثيراً بحسب الحوامض الامينية الموجودة فيها . وفي حوالي سنة 1905 ، لوحظ ان الجيلاتين لا يتضمن لاتيروزين ، ولا سيستين ولا تريبتوفان . الا ان هذه الحوامض إذا أضيفت إلى أنظمة حيوانية لا تتضمن الا الجيلاتين كعنصر آخر من البروتينات ، فان هذه تبقى أيضاً ناقصة . وكان لـ ت . ب . اوسبورن Osborne من يال الفضل الكبير في توضيح تركيب البروتينات النباتية بالحوامض الامينية . والتجارب التي اجراها ل . ب . مندل Mendel حول تغذية الجرذان ، بدت مفيدة بشكل خاص عند القيام بالدراسات الاولى حول الفيتامينات . فقد بينت هذه التجارب أيضاً الاهمية الاساسية لبعض الحوامض الامينية في التغذية الحيوانية . وحوالي

سنة 1930 ، وسّع و . ش روز W. C. Rose ، من جامعة إيلينويس ، هذه الأعمال ، وبيّن الحاجة ، في نظام تغذية الجرذان ، إلى ادخال عشرة حوامض امينية مختلفة هي : الليزين ، والتريبتوفان ، والهيستيدين والفنيلامين ، واللوسين ، والايزولوسين ، والتريونين ، والمتيونين ، والفالين والارجينين . وأتاحت بحوث روز Rose اللاحقة اثبات ان الانسان يحتاج إلى نفس الحوامض الامينية ، ما عدا الارجينين والهستيدين .

3 ـ دراسات حول الايض الوسيط

بخلال القرن العشرين ، تم تحقيق تقدم مهم أيضاً في دراسة التحولات التي تطرأ على الاطعمة ، بعد دخولها إلى الجسم . في مطلع القرن كانت الطبيعة الاجمالية للعملية الهضمية معروفة كفاية ، ولكن المعلومات كانت قليلة حول الايض الخلوي Cellulaire . وحتى سنة 1935 ، لم يتقدم فهم هذه العملية الا ببطء شديد ، ولكن بعد ذلك ، تمّ اكتشاف العديد من الوقائع ، التي تناولت طبيعة ووظيفة الانزيمات ، وتناولت بعض المركبات الهارية التي تظهر بخلال أيض الغلوكوسيد في الخلايا الحية . وربط هذه المعارف المختلفة الجديدة قام به باحثون أمثال ش . وج . كوري C. et G. Cori ، وهانس كربس Hans Krebs الذين بيّنوا ان تقديم الطاقة يحصل بخلال سلسلة معقدة من المراحل ، محكومة بالانزيمات (راجع بهذا الشأن ر . كيهل R. Kehl الفقرة I ، الفصل I من القسم الرابع ، وج . ف . لوروا J. F. Leroy الفقرة II ، الفصل VII من القسم الرابع) .

أيض الشحوم ـ رغم ان مصير الشحوم بخلال عملية الايض الخلوي كان موضوع دراسات مهمة ، فقد بقيت مسائل عديدة بهذا الشأن غامضة . في مطلع القرن ، اثبت ف . كنوب F. Knoop دراسة فخمة حول تأكسد الحوامض الشحمية .

وبين ان بول الكلاب المغذاة بالحامض بنزوييك أو بحامض شحمي ، حيث ترتبط مجموعة الفنيل بسلسلة أليفاتية مفردة ، يحتوي على حامض هيبوريك في حين انه يحتوي [بول الكلاب] حامض فيناسيتوريك اذا كانت هذه الحيوانات قد غذيت بحامض تكون فيه المجموعة فنيل واقعة في طرف سلسلة دهنية مزدوجة . وهكذا بدا بوضوح ان الحوامض الدهنية تتأكسد بواسطة المجموعة كاربوكسيل Carboxyle من آخر السلسلة ، وتستبدل فيها ذرتان من الكربون بآن واحد .

واكتشف فيما بعد ، مفعول أواليات أخرى ، ولكن كل الرسيمات التركيبية والتقهقرية يجب أن تهتم بالذرات الكربونية ذات المؤشر المزدوج في الحوامض الشحمية الطبيعية .

وتجددت المفاهيم حول اختزان الشحوم في الجسم الحيواني على يد ر . شونهيمر R.Schoenhimer سنة 1935 .

استعمل شونهيمر تقنية التصوير النظيري radio-isotopes فلاحظ ان ترسبات شحمية غذائية تحصل حتى لو خضع الحيوان لنظام فقير بالكالوريات (الحراريات) ، وان نقصاً في هذه الترسبات يحصل حتى ولو كان المستوى الحراري للنظام يتجاوز الاحتياجات اليومية . وقد لوحظ

أيضاً بعد ذلك وجود وضع ديناميكي مماثل في بروتينات الجسم .

وبعد تجارب أجريت على جرذان أخضعت لأنظمة تؤدي إلى تشحم الكبد ، عرف فانسان دي فينيو Vincent de Vignaud اهمية « نقل المثيل » Transméthylation وحاجة الجسم إلى بعض المركبات التي تحتوي على مجموعات مثيلية سهلة الفصل (متيونين ، كولين ، بتايين) .

أيض الازوت ـ من المعروف منذ زمن بعيد ان البولة Urée هي مستحدث نهائي من أيض البروتينات ، ولكن أوالية انتاجه لم تكن معروفة بشكل كامل . ان دراسة تفاعلات النقل بدأت في الثلاثينات ، عندما لوحظ ان تبادلاً بين المجموعات الامينية والمجموعات سيتوCétoيتحقق بسهولة تحت تأثير ناقلات اسمها ترانساميناز (Transaminases) . وبمساعدة مركبات موسومة بالآزوت -15 ، امكن اكتشاف وجود آزوت ملحوظ في المجموعات الامينية وان حوامض امينية أخرى موجودة في الأنسجة .

وتمّ اكتشاف مصدر مباشر للبولة على يد . كوسل A. Kossel هـ . د . داكين H. D. Dakin اللذين بيّنا سنة 1904 ان انزيماً هو ارجيناز ، يجر وراءه تحلّل الارجينين بالماء إلى بولة وإلى اورنيتين . ان تشكل الارجينين مع مجموعته النهائية ، المحتوية على نسبة كبيرة من الآزوت ، قد توضح سنة 1932 من قبل كربس Krebs ، الذي بيّن ان حوامض امينية مثل الأرجينين والسيترولين، تحفز وتنشط تشكل البولة في أقسام الكبد . وعندها اقترح أوالية دورية : الاورنيتين المتفاعل مع الامونياك والغاز كربونيك لتشكيل السيترولين ، وهذا الأخير يتفاعل مع زيادة الامونياك ليعطي الارجينين (ان مظاهر متنوعة من الكيمياء الاحيائية قد حللت في فصول مختلفة بيولوجية . من ذلك ان الهرمونات قد درست من قبل ر . كهل R. Kehl في الفقرة IV ، الفصل II من القسم الرابع ومن قبل ر . دوبري وج . دبوكوا G. Desbuquois في الفقرة IV ، الفصل II من القسم الخامس ؛ وان البحوث حول التركيب الضوئي Photosynthèse قد وصفت من قبل ج . ف . لوروا ، الفصل VII من القسم الرابع) .

VIII ـ الخلاصة

بخلال القرن العشرين، انتقلت الكيمياء من حالة علم ناشىء يبحث بغموض عن أساساته، إلى حالة علم ناضج ، يتكامل انطلاقاً من قوانينه الاساسية ، ويقدم مساهمات مهمة للعلوم الأخرى ، للطب وللصناعة وللزراعة . واحتل البحث الكيميائي من جراء هذا مكانه مهمة ، لا في الجامعات فقط ، بل أيضاً في البرامج الصناعية وفي الخطط الحكومية .

وبخلال هذا القرن شاع التأويل الرياضي للظاهرات الكيميائية . وتسربت الرؤية الفيزيائية الكيميائية إلى الفروع الأخرى من الكيمياء ، وظهرت حتى في المجالات العضوية والبيولوجية . أن الأساليب الأدويّة قد انتشرت في الكيمياء التحليلية ، وفي دراسة العلاقات البنيوية ، فأتاحت الحصول بسرعة على معلومات لم تكن تتاح بالوسائل التقليدية .

وظهور أفرقاء بحوث هو حدث مهم للغاية . وتشكل غالباً هذه الفرق من مجموعات من

الاختصـاصيين يمثلون ليس فقط مختلف الفـروع من الكيميـاء ، بـل ويمثلون الـريـاضيـات ، والالكترونيك ، والتنظيم وحتى البيولوجيا والطب . وارتدى الاكتشاف بالتـالي صفة الجمـاعية التي لم تكن بـارزة بهذا الـوضوح في المـاضي ؛ من ذلك مثـلاً ان المـذكـرة التي أعلنت عن اكتشـاف الاينشتينيـوم والفرميـوم حملت أسماء سـتة عشر عـالماً . ودور المؤرخ في تـوضيـح فـروع وشعب الاحداث المؤدية إلى أعمال جديدة وإلى مفاهيم جـديدة ، بـدا أكثر فـأكثر صعـوبة ، نتيجـة العدد الكبير من الباحثين ، ونتيجة تسارع المسار في البحث ، والميل إلى نشـر الاكتشافـات بشكل دقيق ومختصر وجزئي .

ان موضوع اتساع حجم الأدب الكيميائي أصبح مثيراً للاهتمام وشاغلاً، لأن المتخصص يعاني اليوم من صعوبات ضخمة لتتبع تطور مجاله الخـاص بالـذات . ان نشرات الخـلاصات التحليليـة والمقتطفات أخذت تصطدم بنفس العوائق ، نتيجة العدد المتنامي باستمرار من النشرات الأصلية .

وهنـاك اليوم ظـاهرة ذات مغـزى ، هي ظـاهـرة العـلاقـات المتبـادلـة بين الكيميـاء والعلوم الأخرى ، فعلم النبات وعلم الحيوان يتعرضان لتطور عميق في خصوصياتهما ، على أثر الدراسات الكيميائية حول الاثر الانزيمي ، وحول الايض في الخليـة ، وحول تـركيب المواد الـوراثية وحـول التغذية الحيوانية والنباتية . واهتم علم الجيولوجيـا ليس فقط بالتـركيب الكيميائي وبـالبنية التبلريـة لاشباه المعادن ، بل اهتم أيضاً بالتفاعـلات الحراريـة الدينـاميكية (تـرموديـنـاميك) المـوجودة في التفـاعلات الارضيـة . ان علم الفلك ، وعلم الفيزيـاء ، مهتمان بعمق بـطبيعـة المـواد الجـزيئيـة والذرية والنووية ، الخاضعة لظروف غير اعتيادية .

ان البحوث الحالية في مجال الكيمياء تحمل على الظن ان انتباهـاً خاصـاً جداً يجب أن يتنـاول العلاقات المتبادلة عند المستوى الجزيئي . ورغم ان بنية معظم المركبات التقليدية (الاصطلاحية) قد توضحت بشكل مُرضٍ ، فهناك عمل مهم يبقى واجب الاداء ، فيما يتعلق بالمركبات غي رالمعتادة ، العضوية أو المعـدنية . ان مثـل هذه الـدراسات يجب أن تؤدي إلى معـرفة أفضـل بطبيعـة العلاقـات الكيميائية والعلاقات الطاقوية المتدخلة بخلال التحولات ذات الطابع الكيميائي .

القسم الثالث

علوم الأرض والكون

الفصل الأول

الجيوديزيا(1) والجيوفيزياء(2)

مهما بد الأمر غريباً ، فان علوم الارض لم تتطور الا بعد علوم الكواكب بكثير . وبقيت أدوات الاستقصاء دقيقة للغاية ، منذ ان تعلق الأمر بباطن كوكبنا ، سواء فيما يتعلق بالقسم الصلب منها ، أم بقاع المحيطات ، أو بالقسم الفضائي إذا تجاوزنا الكيلومترات من الغشاء الغازي الذي يحيط بنا .

ندرس في هذا الفصل ثلاثة علوم رئيسية هي : الجيوديزيا وبها تلحق الغرافيمتريا (الثقالية) وعلم الزلازل (سييسمولوجيا) والجيومغناطيسية (أو مغناطيسية الارض) . ولكننا نقدم أيضاً السمات الرئيسية في تطور الميتورولوجيا (أو علم الاحوال الجوية = علم الانواء) ـ بما فيه دراسة الفضاء الاعلى أو« الأيرونوميا » (Aéronomie) ـ وجغرافية المحيطات الفيزيائية .

والقسم الاهم في عرضنا يخصص للجيوديزيا ، وهي الفرع الوحيد ذو الجذور العميقة في القرون السابقة . ثم ان الجيوديزيا هي ذات أساس رياضي أكثر تعقيداً وهي التي قدمت لعلم الفلك احد معطياته الأساسية : الشعاع الاستوائي الارضي ، ومنه اشتقت كل القياسات الفلكية للمسافات .

I ـ الجيوديزيا والغرافيمتريا (قياس الجاذبية)

ان الهدف الأساسي من الجيوديزيا هو تثبيت « شكل وأبعاد الأرض» . ان هذه المسألة هي أكثر تعقيداً مما يبدو للوهلة الأولى . فزيادة على سمتها الجيومترية ، فانها تعرض وجهاً ديناميكياً مرتبطاً بمفاهيم السطوح الخارجية وبالكمون Potentiel الارضي . ولا تحلّ هذه المسألة الا بتدخل الارصاد النجومية التي تستند إلى الاتجاه في كل نقطة من الخط العامودي الفيزيائي (العاموي على

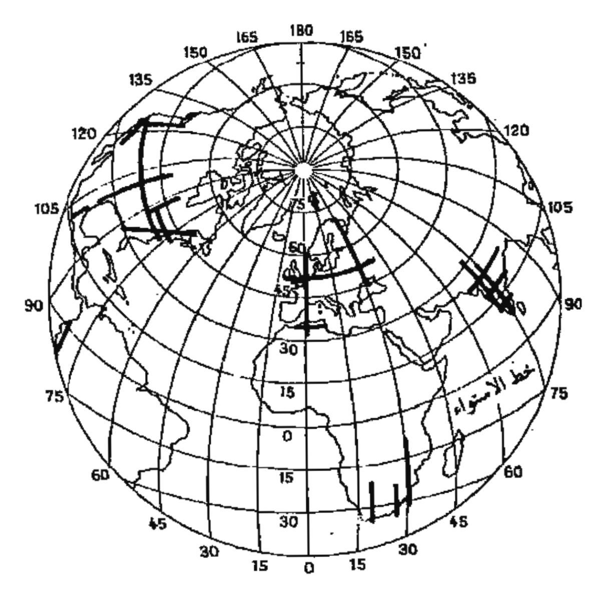
(1) الجيوديزيا أو مسح الأرض هي فرع من الفيزياء الجيولوجية يتضمّن تعيين حجم الأرض وشكلها ومجال جاذبيتها ، وتحديد أماكن نقاط مثبّتة على قشرة الأرض في إطار نظام احداثي متعلّق بالأرض .

(2) الجيوفيزياء أو الفيزياء الجيولوجية هي فيزياء الأرض ومحيطاتها ، أي المحيط الصخري ، والمحيط الهوائي ، والفضاء (كامتداد لها) .

سطوح السطح الخارجي) وإلى قياس تسارع الجاذبية الارضية المتجه وفقاً لهذا العامود ؛ ويفترض حل المسألة الاساس في الجيوديزيا ، المعرفة التفصيلية بحقل الجاذبية الارضية سواء من حيث الاتجاه أم من حيث الزخم .

طريقة أقواس خطوط الهاجرة méridiens ـ في آخر القرن التاسع عشر بدت المسألة الجيومترية الخالصة المتعلقة بالشكل وبالأبعاد الوسطية للأرض شبه محلولة بواسطة طريقة أقواس خطوط الهاجرة ، وهي طريقة تم وضعها في منتصف القرن الثامن عشر ، كما كانت بشكل خاص موضوع بعثتين شهيرتين ، الأولى إلى لابونيا (1736-1737) ، والثانية إلى البيرو (1735-1744) . (راجع مجلد II) .

وعرف القرن التاسع عشر تضاعف قياسات أقواس خط الهاجرة ، خاصة وان هذه القياسات



صورة 26 ـ أهم أقواس خطوط الهاجرة والمتوازيات المعروفة في مطلع القرن الشعرين .

نفسها استعملت في التثليث العادي للبلدان الكبرى ، وهو التثليث المتخذ كأساس لوضع الخرائط .

وعرف هذا القرن أكثر من ذلك تكاثر الحسابات الكبرى التركيبية التي تستعمل أكثر فأكثر أقواس خط الهاجرة ، التي أصبحت أكثر فأكثر دقة (الصورة 26) .

ورغم ان النتائج الحاصلة كانت مختلفة قليلاً فبالامكان الافتراض انه في أواخر القرن التاسع عشر كان نصف المحور الكبير من الاهليلج الارضي معروفاً في حدود الف متر (علماً بأن القيمة

المتوسطة هي 6378000 متر) أما تسطحه فحُدِد بين 1/293 و1/300 .

في سنة 1899 ، كلف الاتحاد الدولي للجيوديزيا فرنسا أن تعود إلى قياس قوس خط الهاجرة الاستوائي (البيرو ـ الاكوادور) من جديد ، بعد أن كان قيس في القرن الثامن عشر وان تجعل منه عملية ذات قيمة علمية عالية .

ودامت البعثة الفرنسية ، وقد اوكلت إلى المصلحة الجغرافية في الجيش الفرنسي ، ثماني سنوات قامت فيها باعمال غير منقطعة ، منفذة في ظروف شاقة بشكل استثنائي فوق أعالي القمم في جبال كورديير دي آندس . وكانت النتائج المقلعة سنة 1907 ذات قيمة استثنائية . ومن بين الضباط الذين شاركوا كلياً أو جزئياً في هذه الاعمال ، يُذكر الجنرال ر . بورجوا R. Bourgeois (وكان يومئذ عقيداً) والجنرال ج . بيرييه G. Perrier (وكان نقيباً يومئذ) .

طريقة المساحات ـ للاسف ! في سنة عودة البعثة الفرنسية سنة 1907 نشر الجيوديزي الاميركي ج . ف . هيفورد G. H. Hayford نتائج اعماله حول طريقة جديدة متفوقة بشكل حاسم ، تنطلق من المساحات (لا من الاقواس) ، وسميت طريقة السطوح (The area method) . وتقوم على البحث عن التصحيحات الواجب ادخالها على العناصر المؤقتة المعتمدة من اجل حساب التثليث (والذي يمتد ليشمل اراض واسعة ما امكن) ، بحيث تُلغى تصحيحاً الانحرافات المتعلقة بالعامود والملحوظة في هذا التثليث .

الانحرافات النسبية في الخط العامودي ـ في حساب التثليث ، في بلدكبير ، الجاري سنداً لمساحة تتخذ كركيزة « عشوائية » مسبقة ، يتم خطوة خطوة حساب خطوط احداثيات مختلف قمم هذا التثليث .

ويتم اختيار نقطة انطلاق تُعتمد من أجلها كخط عرض وخط طول longitude قيمٌ محددة فلكياً بعناية كبيرة للغاية . في نفس هذه النقطة ، توجه الشبكة بفعل القياس النجومي لسمت azimut دقيق « يُنقَل » فيما بعد ، على طول السطح المرجع .

وبما أن احداثيات محددة نجومياً تستند إلى عامود مكان المحطة ، يمكن القول انه تم في الفضاء وضع سطح مرجع ذي ابعاد معتمدة بشكل اصطلاحي بحيث يتطابق ، في النقطة النجومية الاساسية ، العامود على السطح المرجع ، مع العامود الفيزيائي في المكان . ولا يتم هذا بالتمام بالنسبة إلى كل نقاط الكرة الارضية ، لأن كل الأعمدة الفيزيائية لا يمكن ان تكون عامودية على نفس المساحة الرياضية (إهليلجية الدوران ellipsoïde de révolution) المختارة بعناية كما يجب ان يكون .

وبقول آخر ، إذا ، في نقطة جيوديزية ما من المنطقة المثلثة ، قمنا فلكياً بقياس احداثيات المحطة ، يجب الحصول على نتائج مختلفة عن النتائج الحاصلة بفعل العملية الجيوديزية القائمة على نقل الاحداثيات ، نقلاً يتمّ سنداً لمعطيات التثليث . ويبدو الاختلاف محسوساً اكثر اذا كان التوزيع في الفضاء للاعمدة ، أقلّ انتظاماً ، أي اذا كانت كتل القشرة الارضية ، موزعة توزيعاً غير منتظم .

وأفضل مساحات الاستناد التي يجب اعتمادها هي المساحة التي تقلص مجموع مربعات الاختلاف ، والمسمى ، بشكل غير ملائم نوعاً ما ، الانحرافات النسبية في العامود . ان هذا المفهوم قلّما دخل في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . وهذا ما قام به هيفورد Hayford حوالي سنة 1907 بشأن مجمل القارة الاميركية الشمالية ، مستعملاً 769 نقطة مقارنة فلكية .

الفرضيات الايزوستاتيكية (التضاغطية isostatiques) ـ في الواقع أجرى هيفورد حسابات أكثر تعقيداً . بما كان يمتلك من خرائط دقيقة ، ممتدة بعيداً جداً ، فقد حَسَبَ ، في كلٍ من محطات المقارنة ، التأثير على اتجاه العامود في كل التضريس المجاور حتى عدّة آلاف من الكيلومترات .

ولكنه في حين كان يأمل الحصول ـ في نهاية حساباته ـ على فروقات أقل بكثير من الاختلافات غير الصافية ، فقد حصل على نتائج أعظم بشكل محسوس . وكل شيء كان يجري كما لو انه ـ وهو يقدر تأثير كل اجزاء التضاريس ـ زاد في تقدير هذا التأثير ، كما لو ان كتلة المرتفعات الجبلية يجب أن تعتبر « منفوخة » ، وهذا بمقدار ما يكون التضريس اكثر بروزاً .

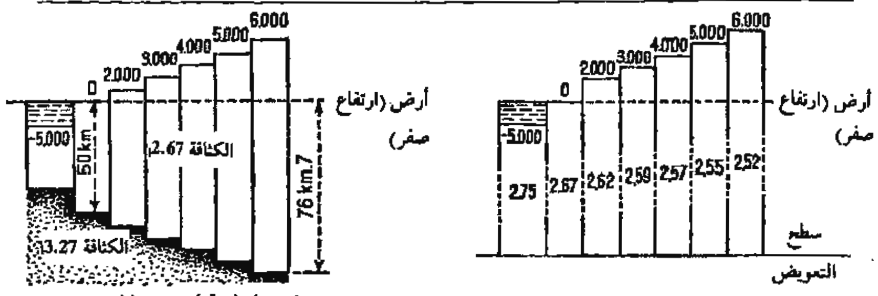
وقام هيفورد بمراجعة كل حساباته فادخل فرضية جديدة ، وهي فرضية التضاغطية (Isostasie) التي صيغت سنة 1856 في كلكوتا من قبل ج . هـ . برات J. H. Pratt .

وفقاً لهذا الباحث ان مختلف مساحات سطح الكرة الأرضية ، وهي مساحات توازن ، هي مساحات غير منتظمة تزداد قلة نظاميتها بمقدار ما تتوزع كتلها بشكل غير منتظم في القشرة الارضية . ولكن انطلاقاً من عمق معين ، يجب ان توجد مساحات سطحية de niveau ذات شكل بيضاوي منتظم . ان عناصر متساوية من مساحات هذا الاهليلج الداخلي يجب ان تحمل كتلاً متساوية فوقها : وكثافات (densités) القشرة الاضية ، يجب ان تؤخذ ، في كل مقطع ، بشكل يتناسب سلباً مع ارتفاعها altitude فوق المساحة الأولى الداخلية المنتظمة ، المسماة مساحة التعويض أو المقاصة (صورة 27) .

واتجه تفضيل الجيوفيزيائيين في أيامنا نحو فرضية أخرى تضاغطية صدرت سنة 1855 من قبل الفلكي الانكليزي ج . ب . ايري G. B. Airy .

يقول ايري أنّه يوجد عند عمق ما (يقدره معظم الجيوفيزيائيين بحوالي ثلاثين كيلومتراً) مساحة لا تتابع أو اختلال في الكثافات . ان الكتل العليا من القشرة ، وكثافتها المتوسطة (2,67) تعوم فوق ماغما لزجة أكثر كثافة ، كثافتها الوسطية 3,27 . . وهي تغوص فيها بعمق أكبر كلما كانت أثقل ، أي انها تشبه مقاطعات ذات ارتفاعات أعلى . وهنا يوجد حتماً تقلص في التضريس : ان المقاطعات الجبلية ، تحلُّ على عمق أكبر من المواد ذات الكثافة 2,67 محل مواد ذات كثافة 3,27 (صورة 28) .

ان الحسابات الجارية وفقا لهذه الطريقة أو تلك ، هي متساوية تقريباً ، ولكن فرضية ايري اقرب إلى معطيات الجيوفيزياء ، وخاصة أقرب ، إلى علم الهزات الارضية (سيسمولوجيا) .



صورة 27 ـ فرضية برات التضاغطية .

صورة 28 ـ فرضية ايري Airy التضاغطية في عمق مقداره 50 كلم .

الاهليلج الدولي المعياريـ ان النتائج التي حصل عليها هيفورد اعتمدت سنة 1924 من قبل الاتحاد الدولي للجيوديزيا وقد استخدمت بشكل عالمي دولي تقريباً .

ـ نصف المحور الكبير في الاهليلج الهاجري الارضي a ....6378388 متراً .

انبساط هذا الاهليلج ∝......1/297.

وتمت العودة إلى حسابات هيفورد مع معطيات محسنة ، وخاصة في الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي (كراسوفسكي Krassovsky وإيزوتوف Isotov) . ان النتائج الحاصلة بالنسبة إلى a هي على العموم أدنى بين 100 و 150 م من نتائج هيفورد ، والقيمة الأكثر احتمالاً في ∝ (مثبتة برصد مدارات الاقمار الصناعية) تقع في حدود 1/298,3 . ولكن هذه الفروقات يجب ان لا تعتبر ذات معنى . فالمساحة المحددة على هذا الشكل ليست فعلاً إلا مساحة وسطية والمساحة عند المستوى صفر من الارض ، والمسمّاة « جيوئيد » géoïde ، تتضمّن « تموجات » تتراوح بين ± 100 م تقريباً .

ان المسألة الاساسية في الجيوديزيا المعاصرة تقوم على معرفة الفروقات بين هذين السطحين . وتقريب هيفورد هو في كل حال ، كافٍ لتعريف سطح يمكن ان يصلح لاستخدامه كمساحة رياضية معيارية .

التقدم الضخم في مجال الغرافيمتريا ـ قلّما التفت في القرن التاسع عشر الا الى القياسات المطلقة المتعلقة بزخم الجاذبية الارضية . وعقب قياسات بوردا Borda الشهيرة ، بدِىء بالاستناد إلى الرقاص المرتد الذي وضعه كاتر Kater سنة 1826 ، والى الرقاص المطلق الذي وضعه الجنرال ديفورج Defforges سنة 1887 ، والى رقاص ريسولد Repsold سنة 1880 ، والذي استعمله بوراس Borass وفورتونغلر Fortwaengler من اجل التحديد الاساسي في بوتسدام ، وهو ما يزال يستعمل في أيامنا كمخطة ارتكاز دولية . وللوصول إلى الدقة المطلوبة وهي في حدود واحد مليغال (1 milligal) ، يجب التعرف في حدود دقة نسبية تعادل (10^{-6}) إلى طول الرقاص المستخدم مع تصحيح تمدده ، الأمر الذي يعتبر صعباً جداً من الناحية الفيزيائية .

في أيامنا تم وضع طرق أخرى لقياس عناصر السقوط الحر : اما لمسطرة مرقمة (فوليه

Volet في بروتيل Breteuil ، 1957) ، واما لكرة من البلور متناهية الكروية (آ . هـ . كـوك Cook في تـدينغتون 1926 Teddington) . ان مـوضوع هـذه التجارب الصعبـة جـداً كـان تحـديـد قيمـة استنادية يمكن أن تستخدم دولياً ، وليس الحصول على العديد من القيم التفصيلية .

القياسات النسبية للجاذبية الارضية ـ منذ أواخر القرن التاسع عشر ، تم اجراء قياسـات نسبية للجاذبية الأرضية بواسطة رقاصـات غير متغيـرة . وارتكزت الـطريقة على حـدث هو ـ سنـداً لقانون هويجنسHuygens ـ ان قيمة g في نقطة ما تتناسب عكسـاً مع مربع الحقبة المقاسة .

وعندهـا تنتفي الحـاجة إلى معـرفة الاطـوال المطلقـة للرقاص المستعمـل . والتصحيحـات الواجبة الادخال على القياسات (اذا كانت ضعيفة) يمكن ان تعتبر ذات صفـة تفاضليـة ، شرط أن يكون بالامكان اعتبار الرقاص ثابتاً لم يتغيّر بين اللحظة التي عمل فيها عند النقطة A حيث الجاذبية الأرضيـة معروفة ، وعند النقطة B حيث يُرْغب في معرفة القيمـة المحلية للجـاذبية (ان التسهيـلات المقدمة لتشغيل هذه الطريقة ، باستعمال الاشارات الساعاتية التلغرافية التصويرية قد ورد ذكرها في دراسة ج . ليفي J. Lévy ، الفقرة 1V ، الفصل IV من هذا القسم) .

ان مثل هذه القياسات النسبية ، الاسهل ، يمكن ان تـطبق على عدد أكبر من المحطات التي تشكل بالنسبة إلى محطة استنادية شبكة متجانسة دقيقة بشكل كاف . وهي يمكن أن تستخـدم أيضاً للربط فيما بين مختلف المحطات المطلقة المحققـة في مختلف البلدان ، بشكل يمكن من تحديد محطة استناد دولية وحيدة .

ومن بين الاجهزة الرقاصة النسبية ، التي تم انجازها ، نذكر اجهزة الفـرنسي ديفورج (1895) Defforges ، والنمساوي فون شترنك Von Sterneck (1887) ، والاميـركي مندنهـول Mendenhall (حـوالي 1935) ، ومدرسـة بوليتكنيـك ميلانـو (1960) الخ . وفي الحـالات الأخيرة المـذكورة ، يتعلق الأمر ، في الواقـع ، بتطبيق فكـرة قياسـات أرضية خصبـة للغايـة وضعت سنة 1925 من قبـل الجيوديزي النرلندي ف . آ . فينن مـاينز (F. A. Vening Meinesz) حـول قياسـات تحت البحار . ان ميزان الالتواء الغرافيمتري الذي وضعه ل . ابوتفوس L. Eotvos (1895) قـد طبق أيضاً وبنجـاح على القياسات الغرافيمترية النسبية وعلى التنقيب البترولي .

التحـديدات الفـرافيمتريـة في البحر ـ هـذه القياسـات هي ذات أهمية بـالغة لمعـرفة حقـل الجـاذبية الارضيـة ، من جراء اتسـاع المحيطات وبسبب غيـاب كـل تضـريس سـطحي بـارز (ان تضريس المحيطات ما يزال غير معروف بشكل كاف) .

وقد تم تحقيق انجاز ضخم نوعاً مـا في هذا المجـال سنة 1923 إلى سنـة 1925 من قبل فينين مـاينز Vening Meinesz الـذي استعان بنـظام من أربعة رقـاصات منـظمة بشكـل ذكي ، فنجح في استبعاد اثر التسارعات الطولية والاعتراضية المفروضة على السفن بفعل حركة البحر .

وقـد شكل رقـاص فينين ماينـز انجازاً كبيـراً في دراسة حقـل الجـاذبيـة الاضيـة . ولكنـه لم يستعمل الا في الغواصات المجمدة عند بضعة امتار من العمق ، مما حدَّ كثيراً من استخدامه .

ويتجه العلماء اليوم نحو أجهزة يمكن أن تستخدم على سفن سطحية (على الاقل في أوقات السكون) . وقد تم حتى الآن انجاز نوعين من الاجهزة : الاول الماني (اسكانيا ـ غراف) والآخر أميركي (لاكوست ـ رومبرغ) . والاثنان يستخدمان مصاطب مثبتة بشكل يتناسب مع الريح . والنتائج الحاصلة حتى الآن تبشر بالخير ، ولكن لا بد من انجازات جديدة يجب تحقيقها في هذا المجال .

الغرافيمترات الاستقطابية (d'interpolation) ـ ان الغرافيمتر الاستقطابي يتكون من آلة تعطي « اشارة » هي دالة على قيمة محلية لـ g [الجاذبية الارضية] في النقطة التي تتخذ كمحطة . ان هذه الدالة لا تحتاج لأن تعرف ، ولكن يجب أن تكون مستقرة . ويمكن في هذه الحالة ان تحدد تجريبياً وذلك بتشغيل الآلة في أمكنة مختلفة A, B, C . . . حيث تعرف مسبقاً قيم الجاذبية g_A، g_B، g_C . . التي حددت مثلاً بواسطة رقاصات نسبية . ان الغرافيمترات الاستقطابية الموجودة في الوقت الحاضر تستخدم ظاهرات متنوعة تفي بالشرط السابق .

وتتضمن غالبية هذه الاجهزة خيوط التواء . ومن أوائل الاجهزة من حيث التاريخ (وقد تجاوزناه اليوم تماماً) كان الرقاص المقلوب الذي وضعه هولوك ليجاي Howeck-Lejay ، سنة 1930 . وهي كلها تتسم بنفس الصفة : حساسية بالغة ، تتيح أحياناً تقدير واحد على مئة من الميليغال ، كما تتميز أيضاً بعدم الاستقرار ، الذي يترجم بوجود انحراف في قراءات الجهاز . وقد شاع استعمالها تماماً، في الجيوديزيا ، كما في الاستكشاف الجيوفيزيائي والمنجمي وعدد النقاط حيث تعرف g في حدود عدد قليل من الميليغال يربو على مئات الالوف (الغال gal يعادل سرعة متر في ثانية الثانية 1m/s/s . والوحدة العادية ، الميليغال ، تساوي جذب قشرة من الأرض ، ذات كثافة وسطية ، من عشرة أمتار من السماكة ، أو بوجود قشرة من 100 متر من السماكة ذات كثافة تختلف بمعدل 10% عن الكثافة الوسطية لقشرة الأرض) .

الشذوذات على الجاذبية الارضية ـ ليست قيم g بالذات هي التي تجمع وتنشر ، بل الانحرافات التي تمثلها هذه القيم بالنسبة إلى قيم تسمى عادية والتي تتطابق مع الاهليلج الدولي المستندي ، المفترض بدون نتوء والمحرك بحركة دائرية بخلال 24 ساعة . ان هذه الانحرافات تسمى شذوذات الجاذبية الارضية ؛ ولا يتعلق الأمر فعلاً بقيم « غير عادية » تتخذها الجاذبية الارضية بل بانحرافات في القيم الحقيقية بالنسبة إلى نظام مستندي محدد هكذا .

كان كليرو Clairaut أول من أعطى سنة 1756 معادلة توزيع التسارع في الجاذبية الارضية فوق سطح اهليلج دائري بحالة دوران . وقد تم تحسين هذه المعادلة من قبل العديد من الجيوديزيين وخاصة هلمرت سنة 1884 وبيزتي Pizzetti سنة 1923 وسوميغليانا Somigliana سنة 1929 .

والمعادلة النهائية هي التالية $g_\varphi = g_0 [1 + \beta \sin^2 \varphi + \beta_1 \sin^2 2\varphi]$.

في هذه المعادلة g_φ تمثل قيمة g عند الموقع φ ، g_0 قيمة g عند الموقع صفر (الجاذبية الاستوائية) و β_1 و β هما معاملان يدخل في تعريفهما الشكل ، والابعاد وسرعة دوران الاهليلج المنظور .

ان g_0 لا يمكن ان تتحدد عملياً الا بالتجربة ، وذلك باستخدام قياسات جرت عند مواقع متنوعة ردت بعدها إلى ارتفاع صفر . ان هذه النتائج المتنوعة يجب ان تشكل مجملاً متجانساً ويجب ان تعاد إلى قيمة المستند (المرجع) الدولي . وهذا المستند الدولي يتدخل بالتالي في القيمة الطبيعية العادية للجاذبية كما يتدخل في قيمتها الملحوظة داخل شبكة ما . ان شذوذات الجاذبية الارضية لا تتأثر كثيراً بعدم يقين يمكن ان يسود على هذه القيمة الدولية للاسناد (ان قيمة الاسناد المعتمدة حالياً والتي ترد إلى مركز بوتسدام قوية من عيار 12 إلى 15 ملّيغال ، والجيوديزيون يأملون بأن لا يتم التصحيح المطابق الا بعد تحديده بدقة وبعض الفيزيائيين وعلماء الارصاد الجوية يتمنون بالعكس ان التصحيح ، حتى وان لم يكن كاملاً ، يجب ان يتقرر منذ الآن) .

ان الصيغة الدولية للجاذبية العادية المعتمدة سنة 1930 من قبل الاتحاد الدولي للجيوديزيا هي : $g_\varphi = 978,049 [1 + 0,005\,288 \sin^2\varphi - 0,000\,006 \sin^2 2\varphi]$.

والنتائج المقابلة لتطبيق هذه المعادلة قد وضعت بشكل جداول تبعاً للموقع φ (جداول كاسيني ودور Cassinis et Dore, 1933) . والقيمة الاساس $g_0 = 978,049$ تحددت على أثر عمل تركيبي نشره الجيوديزي الفنلندي هيسكانن Heiskanen سنة 1928 .

تخفيض القيم الملحوظة للجاذبية الارضية ـ قبل مقارنتها بقيمها الطبيعية ، تخفض القيم المرصودة للجاذبية بمقدار الارتفاع صفر أي بمقدار « الجيوئيد »[1]«géoïde» . ويمكن تصور هذا التخفيض بأشكال مختلفة ، ونحصل على قيم مختلفة للشذوذات بحسب طريقة التخفيض المتّبعة . ان موضوع خفض رصودات الجاذبية ، معقد للغاية .

ان تصليحاً أول يسمى الهواء الطلق ، يدخل ارتفاع نقطة المحطة : وخطأ من ثلاثة أمتار على هذا الارتفاع يدخل خطأ مقدار ملّيغال على التصحيح . ان الغرافيمتريا وتسوية المستوى nivellement مرتبطان تماماً .

وتصحيحات التضريس المجاور لا يمكن ان تحسب الا بشكل موجز واصطلاحي . والحساب البسيط يقوم على افتراض ان محطة ذات ارتفاع H هي محاطة بمصطبة لها وسطياً نفس الارتفاع . ان تصحيح هذه المصطبة ، المسمى تصحيح بوغر Bouguer يعتبر في أغلب الاحيان كافياً للاستكشاف الجيوفيزيائي ، ولكنه لا يمكن أن يكفي لخدمة الجيوديزيا النظرية . ان تصحيحات التضاريسية يجب ان تحسب مقاطعة فمقاطعة حول المحطة . وهذا الحساب الطويل والمكلف يقتضي استعمال خارطات طوبوغرافية جيدة تذهب بعيداً عن المحطة . والتصحيحات تتناقص في البداية بمقدار البعد . ولكنها تتزايد بالتالي بفعل سطح superficie الارض . وقد دلت كل الدراسات التي اجريت على ضرورة ادخال مفهوم الايزوستازيا Isostasie (منهج برات Pratt أو منهج أيري Airy) مما يدعو الى الاختيار الاصطلاحي لنمق تعويضي مقاصي .

شذوذات الجاذبية الارضية في مجال الجيولوجيا والجيوفيزياء ـ ان شذوذات الجاذبية الارضية تؤول ، نوعياً ، بشكل خاص من قبل الجيولوجيين والجيوفيزيائيين .

.وبشأن مسائل الجيولوجيا السطحية ، حيث يلعب الاستكشاف الجيوفيزيائي والبترولي والمنجمي دوراً كبيراً ، يتعلق الامر أساساً بدراسات اقليمية .

ان تأويل خارطات تساوي الشذوذ التفصيلية يتيح التأكيد (أو الدحض) مع احتمالية لا يستهان بها ، لاستنتاجات تعطيها دراسة جيولوجيا الطبقات المجاورة معقولية مقبولة . وتتأتى الصعوبة الرئيسية من كوننا لا نعرف ما إذا كانت الشذوذات الملحوظة لها أسباب محلية أو مجموعة عارضة من جاذبيات كتل غير منتظمة التوزيع . ان الجيوفيزيائيين والكشافين يستخدمون بشكل خاص الشذوذات المحسوبة وفقاً لنظام بوغر Bouguer (الهضبة) .

وفيما خص مسائل جيولوجيا العمق تستخدم بصورة أولى الشذوذات التضاغطية . وهناك نتائج ذات منفعة استثنائية قد حصل عليها في هذا المجال فينين ماينز Vening Meinez في حدود الثلاثينات اثناء عدة مهمات تحديدية ، في غواصة في المحيط الهندي وجنوبي الباسيفيك ، وخاصة في منطقة اندونيسيا واوستراليا . إنّ رسيمة المناطق ذات الشذوذات التضاغطية ، الايجابية أو السلبية ، ترتد جزئياً في حالات كثيرة إلى كتابة تاريخ بعض الانقلابات الجيولوجية في الارض .

شذوذات الجاذبية الارضية في الجيوديزيا ـ وبشكل كمي تستخدم شذوذات الجاذبية الارضية من قبل الجيوديزيين لحل المسألة العامة في الجيوديزيا كما هي معروضة فيما بعد .

في سنة 1867 قررج . ج . ستوكس G. G. Stokes قاعدة أصبحت كلاسيكية ، وبموجبها ان مساحة جسم محدد بمساحة سطحية لا تتعلّق الا بشكل هذه المساحة وبالكتلة العامة ، لا بتوزيع الكتل الداخلية . واعتمد ستوكس في أول تقريب اهليلجاً استنادياً كمساحة سطحية ، فأصبح من الممكن استخدام الشذوذات في الجاذبية الارضية (المتطابقة مع نفس هذه المساحة الاهليلجية) لتحديد تعرجات الجيوئيد géoïde بالنسبة إلى هذه المساحة .

نشر ستوكس أيضاً سنة 1880 المعادلة التي تعطي الانحراف المتري العامودي N بين الجيوئيد والإهليلجي . ودلت هذه المعادلة أن N هي نتيجة دمج تكاملي يدخل تفكيكاً للسطح الأرضي الى مساحات أولية ds يجب معرفة شذوذات الجاذبية في كل منها . ويفترض عموماً ان هذه القيم يجب أن تعرف بالنسبة إلى كل مساحة أولية من سطح الارض من عيار درجة ضرب درجة ($1^\circ \times 1^\circ$) وبتفصيل أكبر بالنسبة إلى الجوار المباشر لنقطة المحطة . الواقع ان عدد النقاط حيث g معروفة ، غير كافٍ لاتاحة حساب اجمالي دقيق ، خاصة فيما يتعلق بمساحة المحيطات ، وكذلك الاقسام الوسطى من افريقيا واميركا الجنوبية . ومع ذلك فقد نشرت خارطات للجيوئيد géoïde تعطي فكرة واضحة نوعاً ما عن النتائج التي تتحسن صحتها سنة فسنة . ان التعرجات الحاصلة ذات اتساع لا يتجاوز 120 م (±40 بالنسبة إلى أوروبا) .

المسألة الأساسية في الجيوديزيا المعاصرة ـ تقوم هذه المسألة على تأمين التوافق ، بالنسبة إلى كل نقطة ، بين الاحداثيات النجومية والاحداثيات الاهليلجية المستندة إلى اهليلج مستندي وحيد بالنسبة إلى الأرض كلها .

في الطريقة التي وصفناها ، ان اهليلج الاستناد الذي اعتمد لحسابات التثليث وضع بشكل مماس Tangent للجيوئيد géoïde ، عند النقطة النجومية للانطلاق ، ثم اعتمدت مثل هذه النقطة بالنسبة إلى كل مجموعة تثليث (وفيها تتطابق الأعمدة على الاهليلج وعلى الجيوئيد) .

في المسألة العامة يجب ان يوضع الاهليلج في الفضاء بشكل يجعل مجمل عواميده normales يتطابق بصورة فضلى ، مع مجمل الأعمدة الحقيقية وهي معطيات فيزيائية تجريبية . وللانتقال من الاحداثيات النجومية إلى الاحداثيات الجيوديزية في هذا النظام العام ، تكفي معرفة ـ في النقطة المعينة ـ الزاوية الصغيرة الموجودة بين المساحتين . ان هذه الزاوية المسماة الانحراف المطلق للعامود ، يجب ان تتحدد بمكونيها « شمال ـ جنوب » و « شرق ـ غرب » .

وعندما تحل هذه المسألة يمكن حساب ، مثلاً ، المسافة بين نقطة من القارة الاوروبية ونقطة من القارة الاميركية ، وحساب السمت في الخط الجيوديزي الذي يجمع بين هاتين النقطتين ، وهو أمر لا يمكن اجراؤه الآن بدقة .

ان التطبيقات العسكرية لهذه المسألة ثابتة بشكل كاف حتى يمكن بدون مشقة اعطاء مصداقية مهمة لهذه التحديدات الغرافيمترية فوق القارات كما فوق المحيطات . وانها لفرصة سعيدة بالنسبة إلى انجازات العلم . انما لسوء الحظ فإنّ قسماً كبيراً من هذه النتائج الحاصلة حتى هذا اليوم يبقى محصوراً بالسرية العسكرية ، ومن المأمول ان يتغير هذا الوضع في وقت قريب .

ان حساب الانحرافات المطلقة في العامود يتم بالتفريق بين المعادلة العامة التي تعطي N وفقاً لاتجاه شمال ـ جنوب ووفقاً لاتجاه شرق ـ غرب . وقدمت المعادلات من قبل فينن ماينز Ven-ing Meinesz وج . دي غراف هنتر J. de Graaff Hunter حوالي سنة 1922 . ويعطي هذا الاسلوب انحدار مساحة بالنسبة إلى أخرى أي يعطي زاوية العامودين فوق السطحين .

التعريف الجديد للارتفاعات ـ ان هذا التعريف ليس بسيطاً كما يبدو لأول وهلة . فالقول ان الجبل الابيض يعلو 4810 متر فوق سطح البحر هو تعبير تصويري ولكنه يخلو من الدقة . والصعوبة الأساسية تأتي من ان تغير g فوق الجيوئيد géoïde مرتبط بالارتفاع مما يجعل سطوح المساحات غير متوازنة .

ولكن الاداة المستعملة في عمليات ضبط التسطح ، وهو المقياس الناظوري niveau à lunette ، تستخدم لقياس فروقات المستويات لا فروقات الارتفاعات . ويمكن تصور مثل هذه الآلة وكأنها تسير فوق مساحة مسطحة . فإذا كانت هذه المساحة على ارتفاع الف متر فوق خط الاستواء ($g_0 = 979$) فانها لن تكون الا على ارتفاع قريب من 995 م فوق القطب ($g_{p0} = 984$) .

هذه المعلومات معروفة منذ أعمال الكولونيل غوليه Goulier (1880) وهلمرت (1884) Helmert وش . لالامند Ch.Lallemand (1890) . وقد أمكن تقديم حل نهائي في سنة 1954 فقط تقريباً ، عندما بدا انه من الممكن ، بواسطة الغرافيمتر الاستقطابي ، تكثير القياسات المباشرة لـ g على طول خطوط الشبكة الرئيسية للتسطيح .

وحتى السنوات الأخيرة هذه ، كانت النتائج غير الصافية للتسوية الملحوظة تخضع لنوعين من التصحيحات النظرية الخالصة ، من أجل احتساب عدم التعادل المسافي بين المسافات السطحية . ان التعابير التي دلت على هذه التصحيحات قد ارتكزت على معادلة كليرو وعلى « حد التصحيح » المعزو إلى الارتفاع سنداً لنظرية بوغر Bouguer المبسطة .

ومنذ 1955 ، ان عمليات التسطيح ، بالنسبة إلى الشبكات الرئيسية ، تستكمل من مكان إلى مكان بالعديد من التحديدات المباشرة لـ g ضمن فسحة تتغير بتغير التضريس وبتغير البنية الجيولوجية . وبدءاً من نقطة انطلاق (واقعة فوق شاطىء البحر ومزودة بماريغراف marégraphe جامع يتيح تحديد المستوى الوسيط للبحر عند هذه النقطة) عندها تحسب الكميات أمثال $[g.dh]$ التي تجمع تباعاً . وهكذا يحسب بالنسبة إلى نقطة ما A علوّها الجغرافي الكامن Cote (c) géopotentielle ، المحدد بالمعادلة : $(c = \Sigma_0^A g.dh)$. ثم من اجل الانتقال فيما بعد إلى الارتفاع بالذات عند A ، تجب قسمة c على القيمة المتوسطة لـ g ، ونفترضها $\bar{g}$ ، على طول العامودي على A . ان هذه الكمية ، ذات القيمة الصحيحة المجهولة من قبلنا ، يمكن ان تستبدل بتعبير مقارب ؛ ان الخطأ الداخل هو خطأ فردي لا يؤثر على بقية الشبكة . ان هذه الشبكة تحسب عندها وفقاً لطريقة وحيدة النهج مستقلة عن الشبكة ، وهذا لم يكن ليحدث بحسب الطرق القديمة .

انه عبر المرور بالمعادلات الجغرافية الكامنة ، تم وضع أسليوب بوشر به بين 1955 و 1959 لتصحيح عام لكل شبكات التسطيح في أوروبا الغربية والشمالية ، مما مكن من اجراء مقارنات ذات فائدة قصوى بين المستويات المتوسطة في مختلف البحار التي تحيط بأوروبا : المحيط الاطلسي ، البحر المتوسط ، بحر الشمال ، بحر البلطيق . وهذه العملية قد انتهت تماماً بفضل الاتحاد الدولي للجيوديزيا .

II ـ علم الهزات الارضية (سيسمولوجيا)

ان الهدف الأساسي من علم الزلازل (سيسمولوجيا) هو دراسة الزلازل ، وهي حركات طبيعية مفاجئة تعتري القشرة الأرضية ، لفترة وجيزة ، وتنطلق من مركز دائماً ما يكون محدود الابعاد . وكل المراكز المعروفة تبعد أقل من 720 كلم عن سطح الأرض . والطاقات المحررة يصعب قياسها وزخم الهزات يقاس عادة بمفاعليها ، التي تصنف هي أيضاً وفقاً لسلم اصطلاحي .

مختلف انماط مقاييس الهزات الأرضية ـ ان علم الزلازل (سيسمولوجيا) لم يظهر كعلم الا عندما امكن ، بواسطة المقاييس الدقيقة والحساسة ، تسجيل الموجات التي تحدثها الهزات والتي تنتشر الى الاف الكيلومترات بعيداً عن المركز (أي في بقعة فوق سطح الأرض حيث ينتهي الشعاع المار بالبؤرة) .

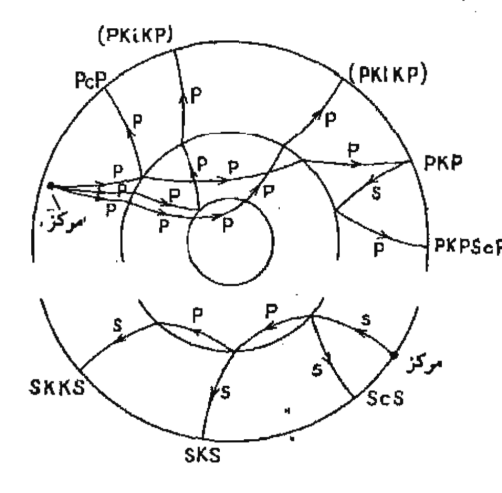
والمقاييس تكون عادة من نمطٍ رقاصي ، اما أفقياً أو عامودياً . والكتلة المتأرجحة أو الراقصة هي من حيث المبدأ كبيرة جداً ، وبفعل الجمود ، فهي لا تشترك الا قليلاً بالزعزعة الارضية ، التي تؤثر عادة في ركيزتها . ورغم ذلك تحدث تأرجحات تنظم لكي تطول مدتها ، مع بذل الجهد ،

بعـدة وسائـل ، من أجل تمـويتها بسـرعة . واتســاع الحركـة يجب ان يضخم كثيراً ، امـا بوسـائل بصـرية ، أو خـاصة بـوسائـل كهرمغنـاطيسية (مقيـاس غاليتـزين Galitzine ، ومقـاييس بنيـوف Benioff ، وونر Wenner وكولومب ـ غرنت Coulomb - Grenet) وغيـرها ، وبعض المضخمـات قد تبلغ مئتي الف مرة .

مختلف مسـارات الموجـات ـ ان التقدم الضخم المحقق في تقنيـة التسجيـل والـدراسـات النظرية والتطبيقية حـول مختلف مسارات المـوجات المسجلة وتـأويلاتهـا أتاحت لعلم الـزلازل ان يصبح مصدراً رئيسياً لمعارفنا حول باطن الارض ـ وبذات الوقت أن يصبح إحـدى الوسـائل الاكثـر فعالية في مجال الاستكشـاف الجيوفيزيـائي والمنجمي (بواسـطة هزات كـاذبة محـدثة بـانفجارات باطنية محلية) .

ان الموجات المسجلة هي كثيرة التعقيد . وعند البعد عن المصدر ، نلاحظ وجـود تمدد في خط الـزلزلـة Séismogramme وفصلاً أفضـل بين مختلـف مســارات المـوجـات ، ذات الـطبيعـات المختلفة أو التي اتبعت مسارات مختلفة عبر الكرة الأرضية أو سطحها .

وقد تم التعرف عموماً على ثلاث مراحـل رئيسية تسـمى P (المـوجة الأولى) ، S (المـوجة الثـانية) و L (المـوجات الـطويلة) . ان الموجـات P والموجـات S ، ذات السـرعـات الـظاهـرة المتزايدة بتزايد المسافة ، تنتشر عبر الكرة ، في حين ان الموجات L ، ذات السرعة الثابتة ، تنتشر فوق سطحها . والموجتان الاولى والثانية مساراتهمـا مقعرة بـاتجاه السـطح ، وهي متجاورة ، انمـا بسرعات مختلفة ، اكبر بالنسبة الى مسارات اعمق .



صورة 29 ـ مسارات مختلف أنماط الموجات الزلزالية .

والمرحلة P تتكون من تموج مستقيم ضمن سطح الانتشار ، في حين ان المرحلة S مستقطبة ضمن سطح عامودي (موجات طولية وموجات اعتراضية) .

ان المرحلة L ، تتميز بوضوح بحسب ما اذا كان المقياس المستعمل يسجـل المكوّن الافقي

أو العامودي للزعزعة (موجة لوف Love وموجات رايلي Rayleigh) .

وقد وضعت طرق متنوعة لدراسة سرعات انتشار مختلف الموجات ـ وخاصة موجات P ـ تبعاً للعمق h حيث ان قانون التغير المحدد بهذا الشكل يعرّف بشكل المسار . وقد تم تحضير برنامج دولي للتجارب الزلزالية ، وللحفريات العميقة من أجل التوفيق بين الدراسات حول طبيعة القشرة الأرضية (1962) .

باطن الأرض ـ ان النتائج الحاصلة ، منذ سنة 1920 تقريباً ، على يد باحثين مختلفين (هـ . جفريس H. Jeffreys ، وب . غوتنبرغ B. Gutenberg ، وش . ف . ريختر C. F. Richter ، الخ) . هي على العموم ، على اتفاق جيد : ان توزيع سرعات الموجات P تبعاً للعمق يظهر ثلاثة انقطاعات توافق الأعماق 50 كلم ، 2900 كلم ، و 5100 كلم (وسرعات الانتشار تصل في أقصى الحدود من 6 كلم إلى 11,2 كلم في الثانية) .

ان هذه الانقطاعات تفصل بين أربعة أماكن : النواة الداخلية ذات الشعاع 1270 كلم ، والنواة بالذات وشعاعها 3470 كلم (أي 2900 كلم من السطح ، انقطاع غوتنبرغ ، 1913) ، ثم المعطف الذي يبدأ عمقه ، بحسب المؤلفين ، من 50 إلى 100 ، إلى 200 أو 400 كلم ، وأخيراً القشرة .

ولا تظهر الموجات S أبداً أبعد من 3000 كلم تقريباً . بالمقابل ، في القشرة الأرضية ، أظهرت أعمال موهوروفيشيMohorovicic، التي نشرت سنة 1909 ، مرحلتين من P ومرحلتين من S متميزتين . وتفسر هذه النتيجة عموماً وكأنها تتوافق مع وجود انقطاع حوالي الكيلومتر خمسين (انقطاع موهوروفيتشي) ، ويتراوح سمك القشرة بشكل محسوس جداً تحت القارات أو تحت السطوح المحيطية (راجع أيضاً دراسة ر : فورون R. Furon في الفصل الثالث من هذا القسم) .

عندما تلتقي موجة (P أو S) سطحاً انقطاعياً ، فانها تولد ، اما موجات معكوسة ، أو موجات مكسورة محروفة . والموجات S ، بشكل خاص، لا تظهر أبداً داخل النواة بالذات ، مما يفسر بأن النواة تعمل عمل المائع :

فرضية رامسي Ramsey ـ من المقبول غالباً في أيامنا ان الارض تتألف من « مواد » وسطى ، ذات تركيب مشابه أساساً للتركيب الموجود في الشمس ، ولكنه تغير منذ الحالة الأساسية (الغازية) بفعل تسرب شديد للعناصر الاكثر خفة ذات الاساس الهيدروجيني . ان كثافة الارض المتوسطة قدرت بـ 5,5 في حين ان كثافة الشمس هي 1,4 .

والانقطاعات الملحوظة ، لا تبدو وكأنها متأتية من فصل للمواد بشكل طبقات وحيدة المركز ، مما يتطلب عدة الاف من مليارات السنين لكي يتحقق بشكل كامل كالشكل الملحوظ مثلاً عند العمق 2900 كلم .

في فرضية و . هـ . رامسي W. H. Ramsey (1949) التي تبناها أيضاً العديد من

الجيوفيزيائيين ، تفسر هذه الانقطاعات وكانها تغييرات في حالة المواد شبه الموحدة الشكل والتي تتكون منها الأرض .

وفوق ضغط معين ، تنتقل الاجسام مهما كانت ، الى الحالة المعدنية ، التي تتميز بتوصيلية جيدة للكهرباء وللحرارة . والبحوث التي جرت في مجالات الفيزياء والكيمياء ، تحت ضغوطات عالية جداً ، وفي درجات حرارة مرتفعة ، قدمت معلومات مهمة حول هذا الموضوع .

ان الكثافات المرتقبة ، وهي بمقدار 2,7 بالنسبة إلى الكيلومترات الاربعين أو الخمسين الاولى ، تنتقل الى ما يعادل 3,3 (اوليفين Olivine) بعد هذا العمق لكي تتصاعد تدريجياً حتى 5,7 . ان الانتقال إلى النواة ، يتوافق مع تغير مفاجىء في الكثافة من 5,7 الى9,3 ثم يتزايد هذا التغير حتى 11,7 ثم ينتقل بسرعة ، نوعاً ما ، إلى قيمة مقدارها 17 ، متخطياً سطح « النواة الداخلية » .

III - المغناطيسية الارضية

ان الاستعمال المعمم للبوصلة حمل الجيوفيزيائيين (علماء فيزياء الارض) على درس يزداد وضوحاً ودقة ، لمختلف مظاهر الحقل المغناطيسي الارضي : ومنها الانحراف (المستعمل مباشرة في البوصلات) والميل - [ويقصد بالانحراف déclinaison الزاوية - الفرق بين الشمال الارضي والشمال المغناطيسي ، في حين يعني الميل inclinaison ، انحدار جسم الابرة المغنطيسية عن استواء خط الأفق] - وأخيراً الاتجاه بالذات وزخم الحقل الأرضي .

وتم أول انجاز عبر إقامة - بُدِيء بها خلال القرن التاسع عشر - مراصد مغناطيسية دائمة حيث تتيح معدات تسجيل دائم تتبع التغيرات عبر زمن مختلف عناصر الحقل : تغيرات ذات أمد قصير ومتوسط وطويل . من هذه المعلومات أو الاشارات أمكن استخراج القيم المحتملة للتصحيحات الواجب ادخالها على العناصر غير الصافية المقاسة في لحظة وفي مكان معينين للحصول على القيم الوسطى لهذه العناصر .

دراسة الحقل الوسط - أتاحت النتائج الحاصلة الاستنتاج بوجود حقل وسط متغير ببطء ، ووجود حقل اضافي عشوائي مباشر ، ضعيف نسبياً ودائم التغير . ان هذين القسمين من الحقل الارضي لهما مظاهر ومناشيء مختلفة .

ان التغييرات في الحقل الوسط ، المحدد وفقاً لبعض الاصطلاحات ، تترجم بتغير يسمى دهرياً Séculaire . ان هذه الملاحظات أتاحت وضع خارطات للشذوذات المغنطيسية التي يمكن ان تكون محلية ، اقليمية ، أو التي تعني مجمل بلدٍ كبير ، مع الاخذ في الاعتبار فرق التواريخ .

لقد درس غوس Gauss الحقل المغنطيسي الارض . وقد بين هذا العالم ان هذا الحقل له أسباب داخلية وهو متفرع من كمون Potentiel لا اتجاه له (Scalaire) . وعبّر عنه بتعبير بشكل تطور تسلسلي (1839) . وقد اهملت دراسة غوس قليلاً بخلال القرن التاسع عشر ، ولكنها استعيدت وطوِّرت في السنوات الأخيرة ، خاصة حوالي سنة 1945 من قبل فستين Vestine في الولايات

المتحدة ، ومن قبل افانا سيفا Afanasieva في الاتحاد السوفياتي ، ومن قبل جونس Jones وميلوت Melotte في بريطانيا ومن قبل شاكرابارتي Chakrabarty في الهند .

ان منشأ الحقل الوسط وتغيراته الدهرية كانت في السنوات الأخيرة ، موضوع دراسات ذات فائدة كبيرة للغاية (الساسر Elsasser وبولاّر Bullard) . وترتئي النظريات الحالية وجود تيارات كهربائية أرضية تنطلق من نواة الارض الداخلية ، السائلة والموصلة . ويُظَنُّ ان اجمال حركات هذه النواة والحركات الاقليمية في المادة الموصلة هي في أساس الظاهرات الملحوظة . وهكذا ، بصورة تدريجية ، تتخلق العناصر في مائية متحركة (Hydrodynamique) مغناطيسية (فصلٌ جديد مليء بالوعود) ، متأتية من دراسة المغنطيسية الأرضية .

دراسة الحقل الاضافي ـ ان دراسة الحقل الاضافي الآني لم تترك مع ذلك . فاذا وضع جانباً القسم المنتظم من التغير ذي المنشأ الشمسي النهاري ، فإنّ التغيرات ، في مجملها ، ناشئة من سبب اولي هو دورات الشحنات الكهربائية في الاينوسفير [كرة التأيّن المغناطيسي] وحتى فيما هو أبعد منه . فعدا عن تأثيراتها المباشرة ، فهي [الدورات] تنشىء أيضاً تيارات محثوثة فوق سطح الارض . ان هذه التيارات الموصوفة بانها معدنية [تلورية] ، قد درست منذ زمن بعيد ، ولكن اهميتها ازدادت بخلال هذه السنوات الأخيرة ، بمقدار ما تطور استعمال طرق الاستكشاف الكهربائي لغايات جيولوجية ومنجمية .

ان نظرية التغير النهاري قد تطورت تطوراً ضخماً ، بعد أخذ تيارات الفضاء الاعلى في الاعتبار ، والمسماة غالباً باسم « النافورات الاستوائية » . وتطرح المسألة بشكل مختلف بالنسبة إلى المناطق القطبية . وفي الحالة القصوى من حالات المواصف المغنطيسية المعنية مباشرة هنا هي ظاهرات شمسية . ان هذه العواصف هي امارات هذه الظاهرات التي يسميها علماء فيزياء الكواكب « القفزات » (sursauts) الشمسية من غلاف اللون (Chromosphériques) . وتدرس هذه الظاهرات أحسن فأحسن ، وخاصة في السنوات الأخيرة ، بواسطة أساليب « علم الفلك الراديوي » وباستخدام التلسكوبات الاشعاعية Radio-téléscope المدخالية [المدخال آلة قياس بواسطة التداخل الضوئي interféromètre] (راجع دراسة ج . روش J. Rosch الفقرة V ، الفصل IV من هذا القسم) . ان الظاهرات المرصودة معقدة للغاية ، وهي تزداد تعقيداً كلما كانت وسائل الرصد متقدمة ، وكلما ازداد عدد الارصاد .

ان الاسحار القطبية هي مظهر من مظاهر بعض التفجرات الشمسية التي تبث اشعاعات ذات طبيعة جسيمية . وتصل الجسيمات الى قرب الارض فتحيط بخطوط القوة من الحقل المغنطيسي الارضي ، في جوار القطبين .

ان الارصاد المغنطيسية ربما شكلت القسم الأساسي من أبحاث مؤتمري « السنوات القطبية » اللذين عقدا سنة 1882 -1883 وسنة 1932 - 1933 ؛ وربما شكلت القسم الاهم أيضاً في « السنة الجيوفيزيائية » الدولية ، هذا الانجاز الضخم الذي غطى السنوات 1957 - 1959 ، والذي ما تزال نتائجه غير مستثمرة بصورة كاملة ، بل وغير مجرودة . وبعض من هذه الارصاد قد

استكمل . وقد استعيدت بشكل عام ، من الجهتين ، في سنة 1964 التي توافقت مع حدٍ ادنى من النشـاط الشمسي ، وهي حملة مـرتقبـة سميت « حملة الشمس الهـادئـة » . امـا حقبـة السنـة الجيوفيزيائية الدولية فقد توافقت مع حقبة ذات نشاط شمسي اقصى .

ادوات القياس المغناطيسي ـ لقـد تمّ تحقيق انجازات ضخمـة من حيث تصور الادوات من حيث انماط استخدامهـا . لقد انجـز الدكتـور لاكور La Cour ، من كوبنهاغن ، حـوالي سنة 1930 معدات أصبحت كلاسيكية ، وذات استعمال شائع ومنها : المقياس المغنطيسي الافقي الكوارتزي (Q. H. M) (quartz horizontal magnétometer) ؛ وميـزان Z المغنـطيسي أو (Balance magnèti-que de Z: B. M. Z) ، وتعتبـر نتائجهمـا ممتازة ، وقـد تم تحسين حساسيتهما خاصـة بعد دراسـة التغيرات في ركائزها الثابتة .

ولكن الاتجاه اليوم بشكل خاص يميل نحو المقاييس المغنطيسية ذات الرجـع (Résonance) المغنطيسي النووي ، وخاصة المقاييس ذات البروتون .

ان نـوى الذرات المـوضوعـة ضمن حقل مغنـطيسي F ، ترى عـزومها المغنـطيسيـة تحتـل مستويات طاقوية تتطابق انتقالاتها مع تواترات تتناسب مع F . ان هذا التواتر هو من عيار الفي هرتز (2000 Hz) بالنسبة الى زخم في الحقل معادل لزخم حقل الارض في فرنسا . وقـد تحقق القياس بالنسبة إلى حقول ضعيفة بواسطة حيل ابتكرت سنة 1954 . ان قياساً للزخم المطلق داخل حقل مـا يتحول هكذا إلى قياس للتواتر ، يمكن اليوم إجراؤه بدقة وبسرعة .

ان مثل هذا الاسلوب لا يعطي اية معلومات عن اتجاه الحقـل ، ولكنه يمتـاز بامكـانية نصبـه على متن الطائرات ، من أجل أخذ مقاسات المغنطيسية الهوائية في مناطق واسعة ، أو فوق الأقمار الصنـاعية من أجـل القيـاسـات المحكـومـة لاسلكيـا في ارتفـاعـات تبلغ عـدة عشـرات من الاف الكيلومترات .

وقد تمّ أيضاً مباشرة دراسة الحقل المغنطيسي الارضي في الماضي التـاريخي (المغنطيسيـة التاريخية archéo magnétisme) وفي الماضي الجيولوجي (المغنطيسية في العصر الحجري الجديد Paléomagnétisme) .

وأتاحت هذه البحوث زيادة معرفتنا ، بشكـل محسوس ، حـول الحقل المغنـطيسي الأرضي (أ . تلييه E. Thellier الخ .) .

IV ـ علم الانواء أو الميتيرولوجيا ، وعلم الفلكيات الجوية
Aéronomie

ان علم الانواء (الميتيرولوجيا كفن التنبوء بالطقس قبل عدة أيام أو عـدة أسابيـع من قبل) ، هو قديم قدم الإنسان . وحتى دخـول القرن العشرين ، لم يكن بالامكـان الكلام عن « علم » بـل جل ما في الأمر ، عن تجربة مكتسبة عقب ملاحظات أولية متعددة .

وفي السنوات الخمسين الاخيرة كثرت بآن واحدٍ الاحتياجات ، من جراء تطور الطيران المذهل ، وكثرت الوسائل ، ومنها الرصد بواسطة الصواريخ ، واعمال السبر الكهرا شعاعي ، تجميع ونشر الأرصاد والملاحظات ، بفضل تطور التلغراف اللاسلكي ، واستعمال النقل عبر المسجلات اللاسلكية (تلكس) .

ولكن يمكن القول إن الميتيرولوجيا كعلمٍ للفضاء ما يزال في حالة بدائية . لا شك ان استعمال الاقمار الصناعية المسماة رصدية (من سلسلة تيروس Tiros) ، وتعميم الارصاد في المناطق القطبية في الشمال والجنوب لا يسمحان في مستقبل قريب من تحقيق انجازات محرزة في معرفة حركات الفضاء المحيط بها وسلوكه العام .

ان القياسات الطيفية (خاصة الليلية) تساعد ، في قسم كبير منها في الانجازات المحققة .

ان القوانين المتعلقة بحركات الفضاء (الحركات الكظمية (ثبوت الحرارة) والتوازن المائي الساكن (هيدروستاتيك) وتأثير الدوران الارضي ، وظاهرات الاختلال ، وحركات العواصف ، وقوانين الدوران العام ، والاضطرابات القطبية ، والانواء الفضائية ، الخ .) هي موضوع دراسات متقدمة جداً . ان فيزياء الغيوم ، وعملية هطول الامطار والثلوج ، والصاعقة ، ودراسة المناخات الارضية ، الخ . هي ايضاً قد حققت تقدماً مهماً منذ خمسين سنة .

ان فصل التنبؤات الانوائية هو الفصل الاكثر شيوعاً لدى الجمهور ، ومن الاسراف الزعم بان هذا التنبؤ يتم بطرقٍ يمكن ان توصف بانها علمية صرفة . ولكن هنا ايضاً تمَّ تحقيق تقدم واسع بخلال هذه السنوات الاخيرة ، وان استعمال الآلات الالكترونية الحديثة يتيح الحصول على انجازات جديدة ، رغم انه لم يوجد حتى الآن ، وبالمعنى الصحيح ، معادلات كاملة تتيح تعريف وتحديد حقل تساوي الضغط ارتفاعاً .

٧ ـ علم المحيطات الفيزيائي

ان موضوع علم المحيطات الفيزيائي هو دراسة البنية الفيزيائية الكيميائية للوسط البحري وحيويته . هذا العلم اذا قرن بالجيوفيزياء [الفيزياء الارضية] لاعماق البحار فانه يلعب دوراً اساسياً بالفروع الاخرى من علم المحيطات (علم المحيطات البيولوجي وعلم المحيطات الجيولوجي) .

ان المعرفة الدقيقة لدرجة الحرارة والملوحة في مختلف الاعماق بقيت لمدة طويلة الوسيلة الوحيدة للوصول ، بواسطة معادلات الهيدروديناميك [السوائل المتحركة] ، الى تحديد اجمالي للدوران البحري .

وتستعمل بآنٍ واحد ، في ايامنا ، اجهزة تتيح القياس المباشر للتيارات البحرية مما يؤدي الى تحديد ادق لبنية التيارات والى فهم افضل لنظامها قرب الشواطىء وفي المضائق .

ان حركية البحار تقتضي ايضاً دراسة الاضطراب السطحي ، والامواج العاتية والامواج ،

واضطراب الانواء وتيارات الانواء .

وكل النتائج هي ذات فائدة عملية حتى انهـا تؤدي الى تنبؤ ادق بالـظاهرات . والانـواء التي تمكن دراستهـا بفضل الميكـانيك السمـاوي وميكانيـك السوائـل تخضع لتنبؤات دقيقـة جداً . ولا يمكن بلوغ دقة مماثلة بالنسبة إلى اضطراب البحر ، وبالنسبة إلى التيارات العامة لأن هذه الظاهرات تتعلق أساساً بتبادل الطاقة بين المحيط والفضاء ، تبادلاً ليس ثبوته سوى صفة احصائية .

ان علم السمـع تحت البحري ، ودراسـة انتشار الاصـوات عبر الـوسط البحري ، لـه اهمية عسكرية كبرى (اكتشاف الغواصات خاصة) وكذلك دراسة شفافية المياه .

ان التطور الحالي للتقنيات ، وخاصة الالكترونيك ، يؤدي حالياً الى تجديـد كامـل للاجهـزة ولطرق الاستقصاء في علم المحيـطات ، خاصـة وقد تمّ صنـع غواصـات اعماق Bathyscaphes ، وهي اجهـزة مستقلة للغطس ، تتيـح لراكبين اثنين الـوصول الى اعمـاق الجور المحيـطيـة الاعمق (11000 م) وهي مزودة باجهزة تسجل مختلف المعطيات الفيزيائية (راجع بهـذا الشأن دراسـة آ . تيتري A. Tétry الفقرة VIII الفصل III من القسم الرابع) .

ان غالبية البلدان التي تمتلك حدوداً بحرية نظمت مرافق مهمة للبحث المحيطي (الولايـات المتحدة ، والاتحاد السوفياتي ، وبريطانيا ، واليابان ، وفرنسا ، والبلدان السكنديـنافية ، الـخ) . ان جهـود التعاون الـدولية المبـذولة في مختلف المجـالات المتعلقة بـالبحـوث المحيـطية بخـلال « السنة الجيوفيزيائية الدوليـة » تتابـع بفضل تـنـظيم بعثتين دوليتين كبيرتين ، لاستكشـاف الأطلسيّ الاستوائي (1963) والمحيط الهندي (1963-1965) .

وان نحن وضعنا كمبدأ ان مسألة ما لا يمكنها ان تأخذ سمـة العلمية الا انـطلاقاً من اللحـظة التي تم فيها وضعها « بشكل معادلـة » ، فان علم الارصـاد الجوية وعلم المحيطات ، لا يعتبـران حتى الآن كعلوم كاملة .

ولكن اذا اعطينا الصفة العلمية هذه سنداً للدقة في الملاحظات والارصاد المحققـة ـ خاصـة ان ارتكزنا على استبعاد الاخطاء المنهجية في القياس ـ وسنداً للعناية المبذولـة من اجل الغـاء كل عشوائية هوائية في الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من هذه الملاحظات ، عندها يمكن اعتبار هذه الفروع من الجيوفيزياء ، كفروع علمية .

وربما كانت هذه الفروع من بين العلوم الاكثر جاذبية ومن بين الاكثر اهميـة بين كل العلوم ، لانها تهتم بالاوسـاط التي نعيش فيها : المحيط وهـو المهد لكـل الكائنـات الحية ، والفضـاء الذي يمدّنا بالحياة والذي يتحكم بوجودنا .

VI ـ التعاون الدولي

ان الجيوديزيا والجيوفيزياء هما علمان ، يبدو فيهما التعـاون الدولي اسـاسياً ويـرتدي طـابعاً خاصاً جداً . وفي حين يترجم هذا التعاون ، قبل كل شيء بالاتصالات البشرية ، وبمقارنة النتـائج

حيث لا يتدخل اي عنصر جغرافي في الجيوديزيا والجغرافيا ، كما في علم الفلك انما بدرجة اقل ، تبدو القياسات الجارية في مختلف المناطق من العالم ، ضرورية ويجب جمعها ، وتنسيقها ، وجعلها متماسكة ، ثم بالتالي ، استخدامها من اجل تركيبات عامة .

ثم ان الجمعيات الدولية الاولى العلمية ، كانت جميعات الجيوديزيا (التي انشئت سنة 1863 من قبل الجنرال البروسي باير Baeyer) وجمعيات السيسمولوجيا (حوالي 1903) وبعدها قامت جمعيات مماثلة بكثرة في كل المجالات العلمية . ولكن داخل المجلس الدولي للاتحادات العلمية ، يحتل الاتحاد الجيرديزي والجيوفيزيائي الدولي (U. G. G. I) مركزاً مهماً جداً ؛ وهو فضلاً عن ذلك الاتحاد الذي اليه انتسبت غالبية الدول في العالم .

ان الاتحاد العام للجيوديزيا قد اثار سنة 1885 ، مسألة انشاء لجنة دولية للاوزان والمقاييس ؛ واليها يعود الفضل في التوحيد القائم حالياً لوحدات القياسات وللانجازات الضخمة في كل فروع الفيزياء وقد اسس هذا الاتحاد في نفس الحقبة المرفق الدولي لخطوط الطول الذي كلف بالتتبع الدائم لتقلبات محور الدوران الارضي . واخيراً ، في سنة 1922 ، تشكّل في روما الاتحاد الجيوديزي والجيوفيزيائي الدولي الذي يضم سبعة اتحادات دولية تأسيسية هي : الجيوديزيا والغرافيمتريا ، علم الزلازل ، علم الانواء والارصاد وعلم الفلكيات الجوية ، المغناطيسية الارضية ، علم المحيطات الفيزيائي ، علم البراكين ، علم المياه .

ومن بين نتائج هذا التعاون الدولي ، نذكر السنة الجيوفيزيائية الدولية وحساب مجمل التثليثات و التسطيحات nivellements الإوروبية . ان هذا التعاون قد برز ايضاً ، بنشاط بالغ بخلال العمليات الجيوفيزيائية من كل نوع المحققة فوق القارّة القطبية الجنوبية . وقد انتقلت العدوى الى المجال السياسي ، « ومعاهدة قارة القطب الجنوبي » (1961) التي تعترف بكامل حيادية هذه القارة ، يمكن ان تعتبر كما لو كانت قبل كل شيء من صنع العلماء ولعل هذه السابقة تتبع فوق اراض اخرى .

وهناك انجازات اخرى دولية يجري تنظيمها ولعلها تساعد بشكل كبير في معرفة افضل لكرتنا الارضية .

الفصل الثاني

العلوم التعدينية

بيّنا (في المجلد الثالث ، الفصل I من القسم الرابع) كيف تكونت العلوم التعدينية بصورة تدريجية بخلال القرن التاسع عشر ، بفضل التطور المدهش في علم الفيزياء والكيمياء ، تطوراً تحفزه الحاجات المتعاظمة لصناعة في اوج الازدهار .

وفي القرن العشرين ، سوف تقفز العلوم التعدينية قفزة حقيقية ، بفضل معرفتنا التي تزداد عمقاً عن الحالة البلورية وعن بنية الذرة ، وسوف تستفيد هذه العلوم فعلاً من نتائج اكتشافات الاشعة السينية ، والنشاط الاشعاعي ، ومن تطور علم الديناميكا الحرارية ومن علم الطاقة Energétique .

I ـ علم التبلر الجيومتري

تشتت الاشعة السينية بفعل البلورات ـ ان هذا الاكتشاف الاساسي قد اتاح الدخول الى بنية الحالة الجامدة من المادة . في سنة 1909 عُيّن ماكس فون لو Max Von Laue (1879-1960) في جامعة ميونيخ . في سنة 1912 ، ولكي يجيب عن سؤال طرحه ب . أيوالد P. Ewald ، توصل الى اثبات التقارب بين تباعد السطوح الشبكية المغطاة بالذرات وبين الطول الضئيل جداً للموجة (من عيار 1 Å) هذا الطول المعزو فرضياً الى اشعة ايكس X من قبل سومرفلد Sommerfeld . واعتقد ان بلورة ما يمكن ان تلعب تجاه اشعة X ، نفس الدور الذي تلعبه شبكة من خطوط تجاه الضوء : اي استحداث تداخلات وانتاج اطياف تشتت .

ونفذ مساعدان من المختبر هما فردريك Freidrich وكنيبينغ Knipping التجارب بواسطة شفرة من البلند (blende) (ZnS) وضعاها في مسار رزمة من اشعة X في محاولة لالتقاط الرزمة المنعكسة بفعل الشفرة المتبلرة . وبعد محاولات فاشلة ، نجحا في التقاط ـ فوق صفيحة فوتوغرافية موضوعة وراء البلورة ـ الاشعة المنحرفة تحت زاوية صغيرة . وكانت البقعة المحدثة بالاشعة المركزية محاطة ببقع مصفوفة بانتظام لتعكس بالتأكيد التوزيع المنتظم للمادة في الشبكة البلورية .

ان نظرية لو والتثبت منها تجريبياً عرفا في تموز سنة 1912 .

ان الفيزيائي وليم هـ . براغ William H. Bragg ، الذي كـان يعتقد ان الأشعة لها خصـائص الجزئيات المادية اكثر مما لها خصائص الموجات الكهرمغناطيسية ، لم يستطع تفسيـر صور « لـو » نسبة الى نظريته . بالمقابل فسر ابنه و . لورنس براغ W. Lawrence Bragg الذي كان يرى اشعة X « كنبضات » قصيرة جداً صادرة عن اشعـاع كهرمغنـاطيسي ، بيضاويـة بقع التشتت المحـدثة فـوق صفيحة موضوعة على مسـافة معينـة من البلور ، مبيناً ان هـذه « النبضات » لم تكن فقط مشتتـة في بعض الاتجاهات ، كما افترضها لو Laue ، بل كانت معكوسة وفقاً لزواية السقوط « بفعـل قشرات الذرات ضمن البلور ، كما لو كانت هذه القشرات مرايا » .

وبالارتكاز على الفرضية القائلة بان المركبات المكعبة البسيطة مثـل البلند Blende ، تتـطابق مـع تجميع تكعيبي كثيف من الـذرات ذات الشكل الكـروي ، شـرح لمـاذا بعض هـذه « المـرايـا الذرية » تعكس اشعة X اكثر من غيرها .

وكانت الهالوجينورات القلوية ، ذات البنية الابسط من بنية البلند ، البلورات الاولى المحللة بواسطة اشعة X . وجرب ل . براغ فيما بعـد تجربـة انعكاس اشعـة X فوق وجـه شق من الميكا ، وجه موازٍ لطبقات ذات كثافة ذرية قوية ، والمخطط البياني الحاصل اتاح له اعطاء بنية شبه المعـدن هذا .

وبدراسة الرزمة المعكوسة ، من ناحية التـأيين ومن ناحيـة الامتصاص ، اثبت وليام براغ ان الموجات المشتتة لها كل خصائص اشعة X . واتاح له مطيافه Spectrométre ذو الاشعـة السينية ان يقيس زخم الرزمة المعكوسة في مختلف الاتجاهات . ولاعـطاء تشتت محسـوس ، يجب ان تلتقي اشعة X عائلة من السـطوح الشبكية *(pqr)* تحت زاويـة « تيتا » Θ مـرتبطة بـطول موجـة « لمبدا » λ بالمعادلة الاساسية ($n\lambda = 2\,d_{pqr}\sin\theta$) ؛ باعتبار d هي المسافة المتساويـة بين السطوح ، وان Θ (تيتا) هي تكملة زاوية السقوط وان n هو عدد صحيح .

وفي سنة 1913 بيّن وليم براغ ان كـل معدن مستخـدم في انابيب اشعـة X كمصدر لـلاشعاع يعطي طيفاً لاشعة X يتميّز باطوال موجات محدّدة .

ومن جهـة أخرى ، وبعـد قياس الـزوايا التي تشكّلهـا الأوجه المتنـوّعـة للبلّورة والتي تعكـس أشعة X وبعد قياس الزخم الذي يتمّ به هذا الانعكـاس ، يمكن تحديـد كيفية انـتظام الذرات ضمن السـطوح الموازيـة لهذه الأوجـه . وبدت هـذه التقنية خصبـة جدّاً ، سـواء بالنسـبة إلى أشعة X ام بـالنسبة الى علم البلور . من ذلـك ان وجهاً بلوريـاً ، منتقى بشكـل مـلائم ، يتيح تحـديـد اطـوال الموجة ، التي تميز اشعة X المتـأتية من مختلف العنـاصر العـاملة كمصدر ؛ ان رزمـة « نقية » من اشعة X أحادية اللون ، يمكن ان تنتقى بفعل الانعكاس فوق بلور ، وعندها يمكن قياس امتصاصها داخل مواد متنوعة .

ان هذا المجال قد اكتشف بشكل باهر من و . براغ الذي قاس اطوال موجة اطيـاف أشعة X

التي تولدها معادن متنوعة ، وحدد هويتها بواسطة الاشعاعات K و L المنسوبة الى ش . ج . باركلا C. G. Barkla سنة 1912 ، وحسب كمياتها الطاقوية وفقاً لقانون پلانك ؛ بيّن بان اقصر اطوال الموجة (K_α و K_β) ، بالنسبة الى العناصر المتنوعة هي ، بصورة تقريبية ، متناسبة عكسياً مع مربع الوزن الذري ، وقرر بالتالي اسس علم المطيافية بالنسبة الى الاشعة السينية ، التي طورت فيما بعد على يد هـ . موزلي H. Moseley (1913-1914) وعلى يد م . سيغباهن M. Siegbahn (1919) .

وفي نفس الوقت ، قام ل . براغ بدراسة منهجية للبنيات الذرية في البلورات : الهالوجينور القلوية ، والماس ، والفلورين ، والكوبريت ، والبلند ، وبيريت الحديد ، ونيترات الصودا ، والكالسيت .

وقطعت حرب سنة 1914 ، بصورة مؤقتة ، بحوث و . ول . براغ ، ولكن في تلك الحقبة ، تحقق تقدم كبير ، بفضل الطريقة المسماة طريقة « المساحيق » ، وقد طورها ديبيه Debye وشيرر Scherrer في زوريخ سنة 1916 ، وهول Hull في الولايات المتحدة سنة 1917 .

في هذه الطريقة ، تُسْقَطُ أشعة X على كمية صغيرة من المسحوق البلوري موضع الدراسة ، المجمع بواسطة مادة لا شكل أو اثر لها فوق قضيب من الزجاج . هنا وهناك ، تمتلك بعض الجزئيات سطحاً من سطوحها متجهاً بشكل يجعل معادلة براغ ($n\lambda = 2d \sin\Theta$) عاملة محققة ، واما اشعة X فتنعكس بمقدار زاوية $2\,\Theta$. ان الجزئيات المتجهة بهذا الشكل تشتت اشعتها بشكل مخروط . وتعطي الجزئيات الاخرى مخروطات اخرى ، ومجموع هذه المخروطات المتواكبة يشكّل سلسلة من الهالات Halos ترى بواسطة فيلم حساس مركز في غرفة اسطوانية . وكل خط فوق الخط البياني (ديا غرام) الحاصل بهذا الشكل يتطابق مع نمط خاص من التشتت ، ويُعْلِمُ عن طبيعة المادة . وكل نمط من المادة البلورية يعطي نظاماً من الخطوط مميزاً .

ان هذه الطريقة مستخدمة عالمياً الآن ، من أجل تحديد وتعريف الأنواع شبه المعدنية . ان المراجع المتكونة لهذا الهدف مرعية بشكل دولي .

منذ سنة 1914 ، جمع عدد ضخم من المعطيات حول البنية الذرية لمواد من شتى الانواع ، المعقدة في اغلب الاحيان ، من قبل علماء كثر من بينهم و . هـ وو . ل . براغ في انكلترا ، وش . موغوين C. Mauguin في فرنسا ، وايولد Ewald وشيبولد Schiebold في المانيا ، ول . بولنغ L. Pauling ووايكوف Wyckoff في الولايات المتحدة ، وآ . ف . يوفي A. F. Ioffé وشوبنيكوف Choubnikov في الاتحاد السوفياتي ، الخ .

ان العالم في البلور le Cristallographe اصبح في متناوله الآن منهجية تحليل ذات قوة لا تضاهى تتيح له ان يحدد أبعاد الزردة la maille بالمقدار المطلق ، كما تتيح له تحديد ترتيب الذرات في الباعث البلوري الذي تحتويه . وانه مدعوم في مهمته بنظرية البنية التي جاء بها شونفليس - فيدوروف Schoenflies-Fedorov التي تعرف 230 نمطاً من توزيع عناصر التناظر : مجموعات التناظر أو المجموعات الفضائية (مجلد III ، الفقرة II ، القسم الرابع) ولكن يجب تكييف

هذه النظرية لتتلاءم مع الاحتياجات ثم تثبيت جدولها . وهناك ترميزية جديدة ، وضعها ش . موغوين C. Mauguin ، اعتمدت دولياً سنة 1930(ترميزية موغوين ـ هرمان Mauguin-Hermann) ثم وضحت سنة 1935 .

ان هذه الاعمال حول البنية تعالج البلور وكأنه وسط منسجم ، وممتد الى ما لا يحد ، ولكن من المعروف ان هذا الوسط يظهر في اغلب الاحيان بشكل مجسّمات « متعددة الجوانب » Polyèdres .

قبل استعمال اشعة X ، لم يستطع العلماء ان يكشفوا عن بنية البلورات الا بعد الدراسة الدقيقة لاشكالها الجيومترية ولخصائص وجوهها .

وفي معالجة رائعة « حول البلور » ، بيّن أ . فيدوروف E. Fedorov كيف يمكن التعرّف على هوية غالبية المواد المتبلرة . ولكن عمله ربما كان مشوباً ، بآنٍ واحد ، بعيب احتواء مشكلتي البنية والتعريف . ووقف ت . ف . باركر T.V. Barker سنة 1930 ، عند هذه النقطة الأخيرة [التعريف] فوضع مبادىء منهجية حاول العديد من الباحثين ان يستكملوها .

لم يقلل استعمال اشعة X من اهتمام الدراسات المورفولوجية (الشكلية) التي تتدخل بشكل مجدٍ في وصف الانواع والتي تقدم للمصورين بالاشعة البلورية معلومات ثمينة حول طبقة التناظر .

التصوير الشعاعي البلوري Radio-Cristallographie ـ يهدف هذا العلم الى دراسة البنيات البلورية بواسطة اشعة X . وهو اذ يتيح تحديد ترتيب الذرات في « الباعث البلوري » الذي يولد تكراره البلور ، فقد فتح حقل بحوث غير متوقع ، ودفع بمعارفنا حول تكوين المادة إلى الامام .

الا ان التحليل المعمق لبنيةٍ بلورية هو مهمة معقدة وصعبة . ولا يقاس بهذا الشأن الا زخم الرزمات المبثوثة التي ترصد ؛ من هذه القيمة يمكن ان نستخلص قيمة الاتساع انما لا يستخلص طور الرزمة المدروسة . ولا يمكن اذاً ـ وبدون وضع فرضيات حول البنية ـ الرجوع الى الخط البياني X ذي احداثيات الذرات . يقول و . ل . براغ : « ان تحليل بلورة ما كأنه حلّ للكلمات المتقاطعة الصعبة » .

وسار تحديد البنيات البلورية شوطاً بعيداً ، بفضل استعمال سلاسل فورييه Fourier واستعمال « عامل البنية » ، وكلها تتيح التعبير عن العلاقة بين توزيع المادة داخل البلور وتشتت اشعة X الذي يحدثه هذا التوزيع ، ثم الحصول على قيم الكثافة الالكترونية الوسطى في كل نقطة داخل « الباعث البلوري » . ان هذه الحسابات الطويلة جداً ، اصبحت اليوم مُسَهَّلَةً باستعمال الآلات (آ . ج . روز 1948, A. J. Rose) التي تتيح الحصول على اسقاط الكثافات الالكترونية على السطوح المهمة في الشبكة البلورية المدروسة .

ان مبدأ الاجهزة التي تقارن والتي تتيح تصوير وتمثيل البنية هو مختلف تماماً . انطلق و . ل . براغ (1939 ,1944) من المماثلة بين تشتت الضوء بفعل الشبكات وتشتت اشعة X بفعل

البلورات ، فوضع جهازاً سمي « عين الذبابة » ، يتيح ، عن طريق الاساليب الابصارية ، ان يتنبأ بشكل الخط البياني X انطلاقاً من تصوير مسطح للبنية . نذكر ايضاً المصور ـ المختصر (Photo sommateur) المنسجم الذي وضعه ج . فون الر G. Von Eller (1955) .

ورغم هذه الانجازات ، بقي تحديد بنية معقدة عملية طويلة ودقيقة . ان دراسة بعض المسائل تقتضي اللجوء الى طرق اخرى ، وخاصة الى اطياف تشتت الالكترونات .

ان المفاعيل الحاصلة ، هي نظرياً متماثلة مع المفاعيل التي تحدثها اشعة X ، ولكن الالكترونات لا تستطيع قطع غير سماكات مواد من عيار 2 الى 5.10^{-4} مم .

ان هذه الطريقة التي لا تقتضي الا كميات من المادة ، صغيرة للغاية ، والا ازمنة استراحة قصيرة ، تطبق على حل مسائل مثل بنية الجزيئات الغازية ، ودراسة الطبقات السطحية (دافيسون Davisson وجرمر Germer ، وج . ب طومسون Thomson ، 1930 ؛ وس . كيكوشي ، 1933 وج . ج . تريلات Trillat ، 1932 ؛ وج . امينوف Aminoff وب . برومي ، Broomé ، 1934-1933) .

فضلاً عن ذلك اتاح الميكروسكوب الالكتروني فصل نقطتين تبعدان عن بعضهما بما يعادل 20 الى 30 أنغشتروم كما توصل الى تكبيرات تزيد على ثمانين الف مرة (ج . دوبوي G. 1961, Dupouy) .

ان الجمع بين تقنيات الميكروسكوب الالكتروني وتشتت الالكترونات قد اتاح بلوغ تفصيلات شكلية (مورفولوجية) في البلورات غير المرئية بواسطة اكبر المكبرات الميكروسكوبية الابصارية ، واتاح تحديد طبيعة بنياتها . ان تشتت النترونات ، الذي اتاح رؤية الذرات الخفيفة ، وتوضيح البنيات المغنطيسية ، قد استعمل ايضاً بكثرة في التصوير الاشعاعي البلوري . وقد تم تحديد العديد من بنيات البلورات الطبيعية والاصطناعية . وكل سنة ترى ولادة بنيات جديدة .

بنيات الأجسام التي لا شكل لها amorphes من الزجاج ومن السوائل ـ ان هذه الأجسام لا تمتلك الدورية البعيدة المدى مثل البلور ، ولكنها تحتفظ بنوع من الترتيب ذي المدى القصير ، في العناصر التي تكونها .

ان الخطوط البيانية X في الجوامد المسماة « بدون شكل amorphes » ومثلها الخطوط البيانية X في السوائل ذات التجمع الجزيئي ، وحتى خطوط السوائل الحقة ـ المتكونة من ذرات كروية (الصوديوم المذاب) أو من جزيئات كروية (كلورور الكربون) ـ تظهر حلقات مائعة تكشف عن ترتيب قصير المدى .

ويمكن القول ان الزجاجات التي هي سوائل ذات تجمع جزيئي « مثبّتة » تعطي خطوطاً بيانية مماثلة .

ومنذ سنة 1961 ، تصدى ديبيه Debye وشيرر Scherrer بواسطة اشعة X ، لتحليل البنية

المفككة في السوائل . ودرس برنال وفولر سنة 1933 ، الحالة الخاصة ، حالة الماء التي كان ستيوارت قد عالجها سنة 1931 .

ودلت الخطوط البيانية الحاصلة على تصور الماء كسائل شبه بلوري مكون من مجالات صغيرة في داخلها تصطف الجزيئات بشكل مجموعة مثمنة الوجوه (Tétraédriques) شبه منتظمة (ر . ك . ايفانس 1954, R. C. Evans) ، ويبدو ان هذه البنية للماء تلعب دوراً ضخماً في هندسة العديد من الجزيئات شبه المعدنية والعضوية .

الحالات التشاكلية الوسطية Mésomorphes ـ لقد اشار ج . فريدل G. Friedel (1922) بهذا الاسم الى حالة في المادة وسطٍ بين حالة اللاشكل وحالة التبلر ، حيث تتوجد بعض المواد العضوية المسماة سابقاً باسم « البلور السائل » (و . لهمان 1889, O. Lehmann) .

وميز فريدل بين حالتين : أولاً ـ الاجسام الخيطية ، السائلة عادةً ، اللامتناحية anisotropes بالفطرة ، ولكنها لا تمتلك الخصائص السهمية المتقطعة ؛ ثانياً ـ الأجسام الخزفية وفيها تظهر هذه الخصائص باتجاه سطح وحيد ، هي أيضاً لا متناهية بالفطرة .

ان هذه الاجسام تنتمي الى السلسلة الزيوتية (الحوامض الشحمية والصابون القلوي ، المشتق من الحامض الزيتي) والسلسلة الدورية . ان مشتقات الكولسترين تقرب من المواد الخيطية . ويعرف اليوم ما يقارب من ثلاثة الاف جسم تشاكلي وسطي . ان كلاً منها يولد جملة من البنيات المتنوّعة : شفرات مزدوجة الحد متجانسة ، وشفرات لولبية ، شفرات مسننة ، بنية ذات خيوط ، وذات مخروطات بؤرية ، الخ .

لقد درست هذه المواد من قبل غاترمان Gattermann سنة 1990 وفورلاندر Vorlander سنة 1918 ، وتلامذته شنك Schenck وج . فريدل G. Friedel وف . غرانجان وش . موغوين Ch. Mauguin وب . شاتلان P. Chatelain . نذكر ايضاً اعمال ف . واليرانت F. Wallerant وب . غوبرت P. Goubert ، وتلامذة مدرسة اورنشتين Ornestein في هولندا ، وتلامذة مدرسة فريدريك Freedericksz في الاتحاد السوفياتي . في سنة 1931 ، خصصت مجلة « زيتشرفت فوركريستلوغرافيا » «Zeitschrift Fur Kristallographie» اكثر من نصف مجلد للادب الغزير حول هذا الموضوع ، وهو ادب قد تضخم بعد ذلك واعتنى . نذكر فقط ان بنية الاجسام التشاكلية الوسطية قد درست بواسطة اشعة X من قبل م . دي بروغلي وأ . فريدل Friedel (1923-1925) ومن قبل ك . هرمان Herrmann (1935) وج فالغيرت J. Falgueirettes (1959) ، الخ . ان اساليب التجمعات الجزيئية التي تميز المراحل التشاكلية الوسطية تلعب حقاً دوراً مهماً في جملة تفاعلات بيولوجية .

العمارات البلورية المعقدة ـ لقد وضعت نظرية عامة حول مادة الشياستوليت سنة 1904 من قبل ج . فريدل . وقام العديد من علماء المعادن ، ومنهم ج . دروغمان J. Drugman و ب . غوبرت P. Gaubert وآ . شوبنيكوف A. Choubnikov بدراسة هذه العمارات بعد ذلك .

ان العمـارات المشاكهـة mimétiques تتكون من شياستوليتـات متعـددة ودقيقة جـداً ، ومن بلورات من نفس النوع ، مرتبة بشكل يكـون فيه تنـاظر المجمـوع اعلى من تناظـر الافراد المكـونة للمجمـوع . ودراسة هـذه العمارات بـدأت في القرن التـاسع عشـر من قبل بـرونز Brauns ومـالار Mallard واستعيدت من قبل ر . هوكارت R. Hocart سنة 1934 بدمـج استعمال الـطرق الابصاريـة واشعة X .

واعطى ل . روايبه L. Royer سنة 1928 اسم « تقيل » (Epitaxie) لـظاهرة التـوجيه المتبـادل في البلورات من انواع مختلفة . وقد اشير إلى حالات كثيرة منها في القرن التـاسع عشـر ، واعطى ف . والـرانت F. Wallerant عنها مـراجعة كـاملة سنـة 1909 . ودرس پ . غـوبـرت P. Gaubert سنة 1924 وج . و . غرونر G. W. Gruner سنة 1929 أيضاً بعض مظاهـر هذه الـظاهرة . وبين ل . روايبه ان هذه البلورات تتلاصق دائماً بواسطة سطوح شبكية ذات زردات من نفس الحجم تقـريباً ، مع الاخذ في الاعتبار بعض الشروط الاخرى ، وقد اعطى سنة 1954 عرضاً اجمالياً لهذه المسألة .

وذكر ج . ديشا G. Deicha سنة 1946 اهمية الاشباع المكثف في المحلول عند تحقيق التقيل وادخل مفهوم « اللاتوازن البلوري التـوالدي » . وأتـاحت أعمال حـديثة ربط تشكـل الشياستـوليت والمجموعات التقيلية بنظرية النمو البلوري .

البلورات المختلطة ؛ المحـاليـل الجـامـدة ـ اقتـرح ج . فـريـدل سنـة 1926 اعتبـار التبلر المتزامن الذي بـدأ ميتشـرليـخ Mitscherlich بدراستـه في القرن التـاسع عشـر ، كمظهـر جديـد لظاهرات الشياستوليت والاتجاهات المتبـادلة في الانـواع المختلفة . وقـد اوضح الفكـرة التي عبر عنهـا ج . تشرمـاك G. Tshermak سنة 1884 ومفـادهـا « ان الخـلائط المتشـاكلة تفسـر تمـامـاً اذا اعتبرناها كمجموعات متوازية حميمة » .

ودلّت الخطوط البيانية لاشعة X انه ليتم العثور على بنيـة دورية في هـذه البلورات ، يتوجب ان تكون الانواع المكـونة ذات زردة مـزدوجة بسيـطة مشتركـة ذات تقريب من عيـار تقريبي يتـراوح من 6 إلى 11% وان يكون توزيع الزردات التي يحل بعضها محل بعض منتظماً .

واذا كان هذا التوزيع احصائياً فقط ، فان البلور يكون محـلاً لضغوطـات تحدث في الشبكـة تمزقات غير منتظمة ، أو تولد شبكة وسيطة بين شبكات المكونات . ان دراسـة بنية الخـلائط (و . ل . براغ 1933 ؛ وو . هيوم ـ روذري Hume - Rothery 1931 - 1935) ، قدمت حول هذه البدائـل من الذرات نتائج ذات فائدة كبيرة ، مؤديـة بشكل خـاص ، الى مفهوم البنيـة الفوقيـة التي تعبر عن التغير في الدورية الاولية ، داخل أحد المكونات . ولكن هـذه البنية لا تتحقق أحيـاناً الا مكـانياً ، وداخل جزائر متعددة متناثرة لا تتحقق بفعل أشعة X (خلائط الحديد والالومينيوم ، الخ) .

ان علميـات الصهر أو الصقـل (السقايـة) والتحمية لهـا تأثيـر كبير على هـذه التغيـرات في البنية ، مما يفسر الخصائص الفيزيائية الخاصة التي تمنحها للخلائط .

II ـ الكريستالوغرافيا الفيزيائية « علم التبلر الفيزيائي »

ان ضخامة تنوع الاشكال البلورية التي ترتديها اشباه المعادن تدل على تأثير الظروف الخارجية للتبلر على انتاج الاوجه ودراسة هذه الشروط ترتدي أهمية كبيرة من ناحية التبلر Cristallographique ومن ناحية التعدين . ومن الناحية الصناعية أيضاً ، من أجل توجيه التبلر نحو الانتاج : اما انتاج ترسب تشتتي واما انتاج بلورات كبيرة كاملة مثل الجرمانيوم (للترانزيستور) ، وبلورات كهر إجهادية Piézo - électrique وحديد ـ كهربائية ، أو بلورات للابصار تحت الاحمر وفوق البنفسجي ، الخ .

تنامي وتناقص البلورات ـ ان الدراسات الاولى المنهجية حول التبلر تعود إلى القرن التاسع عشر ، ومنها دراسة ن . لبلان N. Leblanc (1802) وف . س بودانت F. S. Beudant (1818) ، ودراسة ل . باستور L. Pasteur الذي حصل على نتائج مهمة حول تنامي البلورات ، وتمييز البلورات المبتورة وحول تغير أشكالها الثانوية .

ولكن أعمال ج . تامان G. Tammann وتلاميذه(Die Aggregats Zustande 1922, Kristal- liseren und Schmelzen 1903) تدل على حقبة أساسية . هناك معطيان تجريبيان مهمان ثابتان فيها وهما : القدرة الحبيبية germinatif ، التي تحدد شروط ظهور البذرات البلورية ، ثم سرعة نمو هذه البذرات .

ان البذرات لا تتشكل الا انطلاقاً من اللحظة التي تحصل فيها درجة معينة من الاشباع المفرط أو من الذوبان الفوقي ويوجد ، بحسب رأي اوستولد Ostwald ، منطقة ما بعد استقرارية métastable وفيها لا يبدأ التبلر الا بعد زمن يطول أو يقصر . والشوائب الحاضرة في المكان تؤثر كثيراً في ظهور البذرات والمحلول فوق المشبع يمكن هكذا ان يستقر . ان المسألة النظرية حول « البذرة الحساسة » قد درست من قبل ج . و . جيبس J. W. Gibbs ثمّ من قبل م . فولمر M. Volmer سنة 1939 ، ومن قبل آ . ويبر A. Weber سنة 1926 ، ور . بيكر R. Becker وو . دورنغ W. Doring سنة 1935 .

ورأى پ . كوري P. Curie (1885) النمو البلوري كظاهرة شعرية : هناك كتلة متبلّرة ، تنزع ، كالسائل ، الى اتخاذ شكل يتوافق مع الحد الادنى من الطاقة السطحية . اما بالنسبة للأجسام اللامتناحية فان هذه الطاقة يجب ان تمثل اقليات دنيا مركزة وفقاً لبعض التصاميم ؛ ومطلق بلور يجب ان ينزع إذاً إلى ان يتحدد بوجوه مسطحة .

وطور ج . وولف G. Wulff هذه الفكرة سنة 1901 فصاغ أول نظرية حول النمو . ان البلور المغطس في محلول ذي تركيز معين يمتلك في كل اتجاه سرعة تنام خاصة ، تتناسب مع الثابت الشعري في الوجه العامودي على هذا الاتجاه . ولكن ج . فريدل G. Friedel بيّن ان كون هذه السرعات هي كلّها ذات إشارة واحدة ، يتناقض مع فرضية كوري Curie التي تقول بان البلور ، بحالة المحلول المشبع ، ينزع نحو شكل توازني .

ومع اعتبار تيارات الحمل Convection وسرعة انتشار الملح في المحلول ، استطاع فريدل Friedel سنة 1926 ان يفسر الخصوصيات التشكلية (المورفولوجية) في البلور ، بل وحتى ، في بعض الأحيان تشكل فراغات محدودة بوجوه مسطحة (البلورات السلبية) .

وبواسطة تقنيات قياس التداخل ، قاس ك . و . بون C. W. Bunn (1949) . وو . ف . برغ W. F. Berg (1938) وهمفريز ـ اوين Humphreys - Owen (1949) وس . غولدستوب S. Gauldsztaub ور . كرن R. Kern (1953) سرعة النمو والتركيز فوق سطح بلور في حالة النمو ، ولكن ظهرت اختلافات بين النتائج الحاصلة .

ان غالبية النظريات المتعلقة باوالية النمو تفترض ان الجزئيات الآتية من مرحلة فوق التشبع (محلول أو بخار) تتجسد مع الجامد في المكان الذي تضربه فيه . وقد أثبت ل . كوارسكي L.Kowarski (1935) ، على الأقل في حالة التشكل بواسطة التبخر ـ التسامي ، ان هذه الفرضية لا تتجانس مع النمو التناظري التام ومع الاحتفاظ بالاشكال المنحنية . ان هذه الظاهرات ، يمكن بالمقابل ان تفسر مع الافتراض مع م . فولمر (1926) ان الجزيئات المتكثفة ، هي بخلال بعض الوقت ، متحركة عند سطح البلور بشكل فيلم متتابع منطلق من بذور ذات بعدين ، يتعلق تشكله باعتبارات طاقوية سطحية وطاقوية جوانبية ، وقد طور و . كوسل W. Kossel وي . سترانسكي I. Stranski (1927 - 1930) نظرية قريبة ، مؤسسة على مفاهيم طاقوية أكثر قرباً . وقادت هذه البحوث إلى رسيمات تذكر بمفهوم قشرة « الجزيئات التكاملية » التي قال بها هاوي Hauy ، بعد اغنائها بمعطيات عصرية من التبلر البنيوي .

وبحسب قانون برافي Bravais ، ان السرعة الاعتيادية لنمو الوجوه هي نسبة عكسية مع الكثافة الشبكية ، والوجوه الاقل كثافة تزول كلما ازداد النمو . ولكن ب . نيغلي B. Niggli (1919) ول . د . هـ . دوناي L. H. Donnay ود . هاركر D. Harker (1937) بينوا انه لا يتوجب استخلاص الكثافات الشبكية فقط من شبكات برافي Bravais وانه يتوجب أيضاً النظر إلى مجموعات التغطية .

هارتمان P. Hartman (1953) وو . ج . بردوك W. G. Perdok (1952) حاولا الحصول على تجانس افضل بين الاشكال المذكورة والمرصودة بادخال مفاهيم طاقة السطح والاتصال في البلور ؛ وفي سنة 1947 بيّن م . ج . برجر M. J. Buerger أنّه في تقريب أولٍ ، تكون الطاقة في السطح متناسبة عكساً مع الكثافة الشبكية . ان القيمة النسبية لسرعات النمو بالنسبة الى الاوجه المختلفة قد درست من قبل ارتيمييف سنة 1910 ومن قبل ك . سبانجنبرغ K. Spangenberg وو . كوسل W. Kossel .

ان ذوبان الاشكال المقعرة (أو التناقص) في البلورات قد ولّد بحوثاً مهمة قام بها ج . فريدل G. Friedel وك . سبانجنبرغ وآ . نوهوس Neuhaus . واكد هـ . هيمل H. Himmel وو . كليبر W. Kleber (1934) على الترابط الوثيق الموجود بين نمو الاشكال المحدبة وانتاج الاشكال المقعرة بفعل الذوبان . ودرس هـ . ي . بوكلي H. E. Buckley وج . ديشا G. Deicha ، الخ .

شـوائب التبلر الميكروسكـوبية (البلورات السلبيـة) في البلورات ، وعلاقـاتها بمنـوال تزايـد هذه البلورات . وبيّن ل . روايه L. Royer (1930) انه في سائل متماثل نـاشط ، بالامكـان اظهار صـور حتى غير متناظرة ، بدون علاقة مع تناظرية البلور : ان عناصر التناظر الوحيدة التي تعود الى الشكل الخارجي هي اذن العناصر المشتركة بين البلور والوسط (ج . فريدل G. Friedel ور . ويـل 1930, R. Weil) . ان صور اجتفاف البلورات قد درست من قبل ك . غودفروا C. Gaudefroy (1919) .

تغير السمة أو الهيئة ـ لفت ب . غوبرت P. Gaubert وآ . جوهنسن A. Johnsen (1900) ، وآ . شوبنيكوف A. Choubnikov (1914) ، الانتباه إلى تأثير الاشباع الفوقي ، ورجود الشـوائب في تغيرات وجه البلور .

كما درس آ . ف . ولس A. F. Wells (1946) تأثيـر المذيب ، ودرس ب . غـوبرت (1895 حتى 1925) ثم هـ . ي . بوكلي H. E. Buckley ول . روايه L. Royer تأثير المواد الغريبة المارّة بانتظام في البلور في حالة التشكل .

وعثـر على نمط جديـد من البنيـة ، لحـظه آ . ميشـال ـ ليفي A. Michel - Lévy (1893) في الكالسيدونيت ، الاستدارات الحلزونية ، في العديد من المـواد العضويـة . وبيّن ف . والرنت F. Wallerant التأثير الحاسم للأجسام المزودة بقدرة دورانية ، على تشكلها .

ان مفاعيل الاشبـاع المكثف للمحاليـل ـ الام على تشكل البلور المتشعّب (الشيـاستوليت) المتنامي قد درسهـا م . ج . برجـر M. J. Buerger (1945) وج . ديشا G. Deicha (1943 - 1949) . وقدم ر . كرن R. Kern (1953 - 1961) ايضاحات من النـاحية الجيـومتريـة والطاقـوية ؛ ان مفهـومه حول « شرط تجاوز التوازن » قريب من مفهوم اعم ، هو مفهوم درجـة « اللاتـوازن البلوري » الذي قال به ديشا Deicha (1946) .

الشـوائب البلورية ـ في مـطلع القرن العشـرين ، ارتكزت دراسـة الخصـائص الفيـزيـائيـة للبلورات على فـرضية وسط بلوري كـامل ، اي دوري بشكـل دقيق . ولكن عندمـا أتاحت نـظرية البنيـة والتحليل بـأشعةX ، حسـاب الخصـائص المتنـوعـة للبلور ، الميكـانيكيـة ، والحـراريـة ، والكهـربائيـة والمغنطيسيـة ، ظهرت تنـاقضات عميقـة . من ذلك ان مقـاومة ملح المنـاجم للكسـر هي 200 مرة أقل من المقاومة المحسوبة سنـداً للبنية (آ . يـوفي ، A. Ioffé 1934) . وقد تـوجب النظر إلى « بلور حقيقي » مختلف عن « البلور المثالي » .

وباكمال فـرضية آ . آ . غـريفيث Griffith وو . هـ . براغ (1935) حـول وجود شقـوق غير ملحوظة في البناء البلوري نظراً لقصور التقنيات في ذلك العصر ، اقتـرح آ . سميكال A. Smekal في سنة 1934 فكرة بنية فسيفسائية للكتل صغيرة (من عيار 100 أنغشتروم) محدودة بثغـرات صغيرة جداً حول أصلها كثرت الفرضيات من قبـل ف . زويكي Zwicky (1929) وي . اوروان E. Orowan (1934) وم . ج . بـورجـر M. J. Buerger (1934) . كمـا ان ش . ج . داروين Ch. G. Darwin فسر مفاعيل الانطفاء الملحوظ في انعكاس أشعة X فـوق سطح البلورات التي تبـدو ظاهـرياً كـاملة بفعل وجود العديد من السطوح الصغيرة ، التي يوجد فيما بينها فروقات في الاتجاه خفيفة .

ان دراسة الشوائب البلورية أصبحت فصلاً مهماً في علم البلوريات وفي فيزياء الجوامد ، لان هذه الشوائب (الكترونات حرة وثقوب ، وحوافز (Excitons) ، واماكن شبكية ، وفراغات ، وذرات ثقوبية ، وذرات غريبة دخيلة أو بديلة في الشبكة ، وتمزقات) تتحكم بالعديد من الخصائص .

ان الدراسات حول التمزقات ، الكثيرة العدد منذ عدة سنوات ، قد وضحت مفهوم « البنيات الفسيفسائية » وقدمت معطيات مهمة حول الخصائص اللدائنية في المعادن وفي النمو البلوري .

ان نظرية النمو الحلزوني (ف . ك . فرانك 1949) تعتبر انجازاً أساسياً حين أتاحت بيان حقيقة التمزقات ، والتثبت من خصائصها الأساسية ، وفهماً أفضل لآوالية النمو البلوري . وقد أغنى هذا المجال المهم بالعديد من الملاحظات الجديدة كلٌّ من و . شوكلي W. Shockley وو . ت . ريد W. T. Read (1950 - 1953) وف . سيتز F. Seitz (1952) ون . كابريرا N. Cabrera (1953) وو . ديكيسر W. Dekeyser وس . اميلنكس S. Amelincks (1955) وج . نومارسكي G. Nomarski وآ . ر . ويل A. R. Weill (1954 - 1959) .

الحالة التفككية المتدركة métamicte ـ تدل بهذا الاسم على حالة الفوضى البنيوية المحدثة في الشبكة البلورية في شبه معدن يحتوي على عناصر مشعة ناشطة بفعل تفكك العناصر اثناء الحقب الجيولوجية .

واشار بروغر Brogger سنة 1893 ، بهذا الاسم إلى المواد البلورية التي اكتسبت خصائص المواد اللامتبلرة . ولاحظ دي كلوازو des Cloizeaux ودامور Damour ثم و . موغج O. Mugge ان هذه الاشباه المعدنية تصبح مزدوجة الانكسار الاشعاعي تحت تأثير الحرارة .

على اثر الملاحظات الموضوعة حول العلاقات بين النشاط الاشعاعي والهالات متعدّدة الالوان pléochroïques (أ . روذرفورد E. Rutherford ,1908) اقترح آ . همبرغ A. Hamberg سنة 1914 ان عملية التدرّك ربما تعزى الى اشعاعات العناصر المشعة الموجودة في أشباه المعادن هذه . وابرز ف . م . غولد شميدت V. M. Goldshmidt (1924) ثم ف . ماشاتشكي (1941) Machatschki تأثير طبيعة القوى المتواصلة التي يجب أن تكون ضعيفة التأيين . وأقرّ ف . سيتز Seitz (1949) نظرية الظاهرة مرتكزاً على مفعول الاشعاعات الجسيمية المنبعثة عن المسرعات او عن المفاعلات النووية على بنية الجوامد . واستخدم پ . پلاس P. Pellas سنة 1954 هذه النظرية ليدرس تشكل الحالة التدرّكية في عدد من اشباه المعادن ولاحظ ل . فيغار L. Vegard (1916) وهـ . پيد H. Pied وج . اورسل J. Orcel (1926) غياب طيف التشتت X في كثير من اشباه المعادن الفوضوية .

وبذات الوقت ، كان كتاب مختلفون يدرسون ظاهرة إعادة التبلر تحت تأثير الحرارة ، باستخدام التحليل الحراري التفاضلي . ونشطت هذه البحوث في الوقت الحاضر في فرنسا خاصة بفضل ج . اورسل J. Orcel ود . فوكييه D. Fauquier منذ 1952 .

ان دراسة اشباه المعادن الفوضوية يمكن ان تعطي معلومات مهمة حول عمر الصخور التي تحتويها (هـ . د . هولاند Holland ول . ج . كولب L.J. Kulp ,1950 ؛ ول . أ . فولشوك L. A. Volchok ; وبلاس) . فضلاً عن ذلك تقدم الملاحظات المقدمة حول البلورات الطبيعية الفوضوية ، اذا قورنت بالملاحظات التي تقدمها دراسة حالة التدرّك الاصطناعي (هـ . بروكس H. Brooks ,1956) ، تقدم للفيزيائيين وللمهندسين الذريين ، مؤشرات مفيدة حول التقهقر الحاصل بتأثير اشعاعات الطاقة الكبرى من قبل بعض المعدات المستعملة في بناء المفاعلات النووية ، وتساعد على تحديد شروط « شفائها » .

الخصائص الابصارية في اشباه المعادن ـ اذا كانت المكتسبات الاساسية المتعلقة بالابصارية في البلورات قد حدثت بصورة رئيسية بخلال القرن التاسع عشر ، فان الانجازات المحققة بعد ذلك هي جديرة بالملاحظة .

فقد حصلت تحسينات مهمة في التقنيات الاجرائية ، وفي بناء ركائز الميكروسكوبات والشبحيات ذات القوة العظمى ، كما أتاحت استخداماً أفضل للمعطيات النظرية والتوصل إلى دقة عظمى في تحديد السمات الابصارية في البلورات .

ان خصائص البلور الشفاف كانت موضوع أعمال كثيرة وقياسات عديدة للثوابت الابصارية . وعاود پ . سيف P. Sève (1920) وك . غودفروا Gaudefroy (1924) دراسة تشتت ازدواجية الشفافية في البلور ، وصنف غودفروا مختلف انماط سلالم الالوان ، وبيّن اية تطبيقات ممكنة من اجل دراسة اشباه المعادن وبناء شفرات ربع الموجة ونصف الموجة ، شبه معدومة اللون .

وبين ل . لونغشامبون L. Longchambon (1922) ان كل البلورات ذات نصف وجهية تخايلية هي مزودة بقدرة دورانية ، سواء كانت المادة أو لم تكن ناشطة في المحلول . وقد وضع طريقة لقياس دقيق لهذه القدرة الدورانية في البلورات ذات المحور المزدوج . ودرس پ . غوبرت P. Gaubert القدرة الدائرية ، المرتفعة جداً احياناً ، في السوائل اللاامتناحية .

ان قياسات اشارات التشتت بواسطة طريقة التغطيس في سوائل معروفة قد حسنت . وحسنت ايضاً الطريقة التيودولتييه التي وضعها أ . ف . فيدوروف (1889) التي تسمح بتعيين مكان اهليلج الاشارات بالنسبة الى عناصر التناظر في البلور المدروس . ان دراسة البلورات غير الشفافة ، التي ولدت مع التعدين الميكروسكوبي ، قد تطورت انطلاقاً من اعمال ج . كونيغسبرجر (1900 - 1910) J. Konigsberger ، واعمال ف . ي . رايت F. E. Wright واعمال هـ . شنيدر هوهن Schneiderhohn واعمال ك . شلوسماكر K. Schlossmacher (1924) .

ان فائدة قياس القدرات العاكسة في المعادن غير الشفافة ، بالنسبة الى الضوء المعكس المستقطب بصورة مستقيمة أصبحت أكيدة . وقد تم اقتراح معدات منذ 1923 . وفي سنة 1927 ، انجزج . اورسل اول مقياس صوري Photométre ذي خلية تصويرية كهربائية اعتمدت في الميكروسكوب التصوير معدني الاستقطابي ، الذي أتاح اجراء قياسات على سطوح صغيرة

بلورية . وعالج اورسل فيما بعد دراسة التغيرات في القدرات العاكسة مع طول الموجة ، محدداً العوامل العددية الرئيسية في اللعبة ، وقدّم ل . كابديكوم تحسينات مهمة في ذات المجال (1936-1941) . وجرى العديد من قياس القدرات العاكسة اما بواسطة المقياس التصويري العيني الذي وضعه ل . بريك L. Berek (1931) أو الصمام الضوئي المضاعف للالكترونات (آ . سيات 1951, A. Siat ؛ ج . بروفوست 1961, G. Prouvost) ، أو بواسطة نمط جديد من المقياس التصويري النظري (آ . ف . هاليموند 1953 - 1957, A. F. Hallimond) .

التنوير أو اللمعان ـ تحت تأثير الطاقات الخارجية ذات الطبيعة المتنوعة ، تعتبر البلورات مركزاً لظاهرات رائعة قد تضيء دراستها تكوينها وتدخل مساهمات مفيدة على فيزياء الجوامد .

ان لمعان الاجسام الجامدة ، كان ، في القرن التاسع عشر ، موضوع بحوث من قبل أ . بكريل E. Becquerel الذي بيّن ان الاجسام الصلبة المتألقة تستمد هذه السمة من وجود مواد غريبة موزعة بدقة في الشبكة البلورية . ومنذ مطلع القرن العشرين ، درس العديد من الباحثين لمعان الأجسام الجامدة تحت تأثير الاشعاعات فوق البنفسجية ، والأشعة الكاتودية ، وأشعة X والاشعاعات الفا ، بيتا ، غما α, β, γ .

وفيما كان ج . بكريل J. Becquerel يدرس بث التألق الفوسفوري في حالات الحرارة المنخفضة جداً بواسطة املاح الاورانيل ، والياقوت والزمرد ، كان ج . اوربان G. Urbain (1909) وج . يوشيمورا J. Yoshimura (1934) يرصدان أطياف اللمعان الكاتودي في الفليورينات الطبيعية ، ويبينان ان دور المضيء (Luminogène) يتم فيها بفعل الترابات النادرة (اوروبيوم ، ساماريوم ، الخ) .

ان دراسة البلورات البراقة على الحرارة قد قام بها ي . ايواز E. Iwase (1934) وف . مارتن F. Martin (1930) وهـ . شتينمتز H. Steinmetz (1936) . والبحوث حول التوصيلية الصورية ، في الموصلات النصفية الالكترونية قد اظهرت اهمية مستويات التنافر (العيوب) الموجودة داخل المستويات المنتظمة في البلورات (آ . ف . يوفي 1935, A. F. Ioffé) . ولكن التألق يلاحظ في بلورات هي نصف موصلة الكترونية . ان عودة الكترون التألق ، المحدّد مؤقتاً ضمن المستويات الطاقوية في الشبكة ، يثير بثّ ضوء ما ، وتصبح مستويات التثبيت المؤقّتة ، في الكترونات التألّق مستويات تنافر مخلوقة في الشبكة بقرب الشائبة (موريس كوري 1934-1935) .

ان استحداث البهرات بإنارة الاحتكاك (Tribolumonescence) الذي بقي غامضاً قد تم أخيراً تفسيره من قبل هـ . لونغشامبون (1925, H. Longchambon) : ان هذه البهرات هي مظهر لمعان ازوت الهواء وسببها تفريغات كهربائية تثيرها بلورات خاصة عندما تكون هذه البلورات كهر حرارية وكهر اجهادية .

الالوان ـ ان الوان اشباه المعادن لم تدرس في القرن التاسع عشر ، الا من حيث امتصاص الضوء والالوان المتعددة Polychroisme . ان التقدم في معرفة بنية البلورات قد أتاح معالجة علاقات هذه الظاهرة الفيزيائية مع الخصائص البلوركيميائية في المواد التي توجد فيها هذه

الخصائص . وقدم آ . ي . فرسمان A. E. Fersman (1937) تصنيفاً للالوان سنداً لمنشئها .

ويميز هذا التصنيف بين :

1 ـ حالات التميز اللوني وفيها يتعلق لون شبه المعدن بتركيبه الكيميائي وبأساليب الارتباط بين الذرات في شبكته البلورية .

2 ـ حالات التغير اللوني وفيها يعزى اللون ، اما إلى استبدال بعض ذرات او ايونات في الشبكة بذرات اخرى أو ايونات ذات احجام مجاورة ، واما لوجود تضمينات متماسكة نوعاً ما ، موزعة داخل الشبكة البلورية .

3 ـ وأخيراً في التلوّن الزائف ، حيث اللون يعزى الى توزّع الضوء ، والى ظاهرات تداخل أو تشتت تثيرها خصوصيات في النسيج البلوري .

ويختلف التلوين ، قليلاً ، تبعاً لدرجة الحرارة في التبلر ووجود مواد غريبة في الوسط المولد . ويمكن أن يتغير هذا التلوين تحت تأثير الظاهرات الكهربائية القوية (أشعة كاتودية ، اشعاعات راديوم ، أشعة فوق البنفسجية) التي تؤثر في الايونات ، وفي الذرات وفي الحقول التي تحيط بها ، مولدة مناطق جديدة للامتصاص الابصاري . ان الوان تشعيع اشباه المعادن كانت موضوع اعمال تجريبية متعددة (ف . پريبرام V. Pzribram, 1927 - 1953 ، الخ) .

وفي محاولة ربط تلوين اشباه المعادن بطبيعة عناصرها ، لاحظ فرسمان Fersman ان بعض الايونات فقط تلعب دور « الصبّاغات » الحقيقية : Ti, V, Mn, Cr, Fe, Co, Ni ؛ وبدرجة دنيا : W, Mo, U ، الترابات النادرة و Pt, Co, Mo في الاملاح المعقدة من هذه العناصر . ولكن هذا التخصيص لا يشكل الا تقريباً أولياً .

المفعول الكهرضوئي والموصلات النصفية ـ تحت تأثير الضوء ، يكون بلور الكوبريت (Cu_2O) مكان قوة كهربائية محركة . وقدم آ . وآ . ف . يوفي Ioffé (1933) تفسيراً لهذه الظاهرة . واشباه معادن أخرى نصف موصلة قد درست من قبل ج . اتاناسيو G. Athanasiu (1934) . فضلاً عن ذلك تمت انجازات ضخمة في أعداد الموصلات النصفية الاصطناعية (يراجع بهذا الشأن الفقرة VIII ، الفصل IX من القسم الثاني) .

خصائص فيزيائية أخرى ـ لقد حقق ج . غرينوود G. Greenwood (1932 - 1935) جهازاً حساساً جداً للكشف عن الكهر اجهادية ؛ وهناك اسلوب كشف على الكهر حرارية يعود الفضل فيه الى ب . ج . مارتن P. J. Martin (1930) .

ان دراسة الاشعاع المنتشر بفعل رامان Raman في البلورات تتيح ، في بعض الحالات ، تحديد اتجاه الجزيئات أو الايونات ، وتحديد مكان الاتصالات ، وموضع ذرات الهيدروجين ، ودوران الجزيئات في الابنية البلورية ثم الكشف عن التشوهات والتحريفات في الايونات التي لا تستطيع أشعة X اكتشافها .

قدم ج . كابان J. Cabannes (1932) وج . پ . ماتيو J. P. Mathieu ول . كوتور - ماتيو L. Couture - Mathieu (1954-1947) مساهمات مهمة في هذا المجال . وكذلك ، تفاعل الشعاع تحت الأحمر مع الوسط البلوري قدم معلومات مفيدة جداً حول بنيته وقدم عناصر من أجل تمييز الأنواع (ل . لكونت L. Lecomte 1958 ؛ وس . كايير S. Caillère وت . پوبغوين 1960-1961 Th. Pobéguin) .

نذكر ان الشروط لكي تكون البلورات حديد مغناطيسية قد تحددت ، وان انواعاً جديدة من الظاهرات المغنطيسية : الحديد مغنطيسية المضادة والحديد مغنطيسية قد تم اثباتها (راجع الفصل VIII من القسم الثاني) .

ان انتشار أشعة X بفعل الموجات المطاطة ، في الوسط البلوري ، قد أتاح دراسة الاضطراب الحراري في الذرات التي تكونها (م . بورن M. Born وث . فون كارمان Th. Von Karman 1912-1913 ، ج . لافال J. Laval 1939-1954 ، وهـ . كوريين H. Curien 1952) وقدم معطيات أساسية للمعرفة العميقة بالحقل البلوري الذي به تتعلق خصائص عديدة في الجوامد .

وبالنسبة إلى المعادن والخلائط ، يمكن ان نحسب الطاقة الممصوصة أو المتصاعدة من ذوبان الذرات الغريبة ثم استباق تبدلات التوصيل الكهربائي ، والقدرة الحرارية الكهربائية ، وحتى تغيرات طاقة التماسك مع تركيب الخليط .

القساوة - ان تقديراً مباشراً للتماسك البلوري بدراسة القساوة يفيد لتحديد الانواع شبه المعدنية . وللاسف ان تعريف القساوة غامض جداً ، والتقينات المختلفة المستعملة للوصول اليه تقيس بالحقيقة تركيباً معقداً نوعاً ما مؤلفاً من خصائص متنوعة : مطاطية ، ليونة ، صلابة ، لزوجة ، الخ .

ان طرق برينل Brinell (1900) ثم طرق فيكرس Vickers ، المستعملة من قبل المعدنين تدخل بشكل رئيسي مقاومة الاختراق . ان طريقة فيكرس قد طبقت في الفحص الميكروسكوبي للمقاطع المصقولة منذ 1936 .

وقد حسن س . ب . تالماج S. B. Talmage (1926) الطريقة القديمة طريقة السكلرومتر Sclérométre [مقياس التحجر] ؛ وابتكر پ . لورولان P. Le Rolland (1926) طريقة للقياس مرتكزة على تأثير صلابة ركيزة سكين رقاص في مدة التأرجحات الصغرى .

III - كيمياء التبلّر

كان أحد الاهتمامات المسيطرة على الباحثين في البلوريات ، في القرن التاسع عشر ، هو البحث عن رابط بين طبيعة الجزيء الكيميائي في اشباه المعادن ، والبنية الجيومترية في بنائها البلوري . ان مفهوم التشاكل isomorphisme ودراسة البلورات المختلطة ، قد أتاح فهماً أفضل

للتركيب الكيميائي المعقد لعدد كبير من اشباه المعادن ، وفكرة الاستبدالات التشاكلية للعناصر الكيميائية ، كانت مقبولة . وقد ابتكر م . آ . غودن M. A. Gaudin سنة 1873 أساليب ترتيب الذرات داخل الجزيئات ، وترتيب الجزيئات في البناء البلوري ، مع اخذه في الاعتبار قانون التناظر الذي يسود كل التجمعات . وحسَّن ج . ديلافوس G. Delafosse هذا المفهوم حين ادخله ضمن نظريته الشبكية (راجع مجلد III ، الفقرة I من القسم الرابع) وبيّن لوثار ماير Lothar Meyer دورية تغير الاحجام الذرية مع تزايد الوزن الذري للعناصر . ان العديد من الملاحظات حول الخصائص الفيزيائية للمواد المتقاربة جداً قد جمعت من قبل ب . غروت P. Groth (كيمياء التبلّر ، 1906 - 1919) .

وارتأى بارلو Barlow وبوب Pope (1906) تفحص بلورة باعتبارها كياناً جيومترياً مكوناً من تجمع ذرات كروية ، لكل منها حجم مميز معين بفضل توازن بين القوى العاملة بين الذرات المجاورة . ان دراسة بنية البلورات عن طريق تشتت اشعة X كانت متوافقة مع هذا المفهوم ، الذي كان في أساس الاعمال الاولى التي قام بها آ . و . هول A. W. Holl خاصة بالنسبة إلى الهالوجينور القلوي (1920) .

الاشعة الذرية ؛ والاشعة الايونية ـ عند ملاحظة البنيات البلورية في العناصر او بنيات البلورات التي فيها تتصل ذرتان من نفس النوع ، (لاندي Landé ، 1920) ، امكن بالتدريج ، استخلاص قيم الاشعة الذرية والايونية في هذه العناصر ، ثم بالتالي استخلاص قيم اشعة العناصر الأخرى التي تندمج فيها . الا ان و . براغ ثمّ ر . ويكوف R. Wyckoff بيّنا ان الأشعة الذرية في نفس العنصر قد تتغير في تراكيبه المتنوعة . وقام ف . م . غولدشميدت (1923-1931) W. M. Goldschmidt بالتوفيق بين كل المعطيات التجريبية المتعلقة بهذه المسألة .

ان الاشعة الذرية والايونية في البلورات هي في الواقع الاشعة الظاهرية أو الفعلية في كرات تأثير الذرات والايونات في الفضاء المحتل في داخل البلورة المدروسة . وتحسب هذه الاشعة سنداً للمسافات بين الذرات المقاسة عند تحديد البنية البلورية بواسطة تشتت أشعة X . وفي حالة الاشعة الايونية ، ان هذه الحسابات المتتالية تفترض معرفة الشعاع الايوني في مطلق عنصر من العناصر المدروسة . ان حسابات غولدشميت ترتكز على الاشعة الايونية في الفليور وفي الاوكسجين ، المحددة من قبل س . آ . واساستجرنا S. A. Wasastjerna (1923) .

استطاع غولدشميت أن يصل بين الشعاع الفعلي في الذرة أو بين الايون ذي العدد الذري في العنصر ، وبين قابلية Valence الذرة وبين الدليل Indice أو عدد التنسيق المميز للذرة في البنية المعينة (عدد ذرات عنصر آخر تحيط به) .

وأضاف آ . ك . بولديرف A. K. Boldyrev (1934 - 1936)) إلى هذا تغير طاقات الاتصال ، على أثر استقطاب الايونات في المركبات المدروسة ، أي تغييرات شكلها واحجامها تحت تأثير الايونات المجاورة . ان هذه السمة قد عُبِّر عنها كمياً من قبل م . بورن M. Born وو . ويزنبرغ W. Weisenberg (1924) ، سنداً لمعطيات ابصارية وطيفية . وقد عرض غولدشميت ومعاونوه الدور

الذي تلعبه في النظرية الحديثة في بنية البلورات (1925, Die Gesetze de Kristallchemie) .

على أثر هذه البحوث الجميلة النظرية والتجريبية ، عبر غولدشميت عن « القانون الاساسي » التالي : « ان بنية البلور تتحدد بالنسبة إلى كميات وحداتها البنيوية ، وبالنسبة إلى أحجامها وبالنسبة إلى خصائصها الاستقطابية » .

ان عبارة وحدات بنيوية تدلّ هنا على الذرات وعلى ايوناتها المتتالية وعلى مجموعات الذرات . ان هذا القانون يساعد على توضيح الاسباب التي بها تتعلق البنيات البلورية ، وهو يدل أيضاً على انه لا يمكن تعميق هذه المسألة بدون دراسة اكثر اكتمالاً للقوى التي تشكل وتكون البلور ؛ ومعرفة هذه القوى مرتبطة بمعرفة بنية الذرة .

الارتباطات الذرية في البلورات ـ ان طبيعة قوى التماسك في الاجسام الصلبة وفي البلورات خاصة ، قد درست فيما بين 1924 و 1937 من قبل و . بليتز W. Blitz وهـ . ج . غريم H. G. Grimm وبولنغ Pauling و آ . فون انتروپوف A. Von Antropoff ون . ف . سيدويغ N. V. Sidgwick ، وف . كاجان F. Kajans وغولدشميت ج . د . برنال J. D. Bernal وج . شرمان J. Sherman وس . دوشمان S. Dushman وف . سيتز F. Seitz .

أدت هذه الأعمال إلى توزيع قوى الاتصال العاملة بين مختلف الوحدات البنيوية داخل البلورات إلى اربع فئات هي :

1 ـ الارتباطات الايونية (أو المختلفة القطب hétéropolaire) العاملة بين ايونين من شحنات متعارضة .

2 ـ ارتباطات التكافؤ (أو الوحيدة القطب homopolaires) العاملة بين الذرات كما في الشبكات الذرية النمطية (حالة ذرات الكربون في الماس مثلاً) . قدم و . هايتلر W. Heitler وف . لندن F. London (1927) نظرية حول هذا الاتصال مرتكزة على الميكانيك التأرجحي .

3 ـ ارتباطات فان در والز Waals العاملة بين الجزيئات الحيادية كهربائياً . ان هذه الارتباطات التي يُولدها الحث المتبادل للشحنات الموجودة في مختلف أقسام هذه الجزيئات ، تبدو ضعيفة .

4 ـ أخيراً الارتباطات في البلورات المعدنية التي تنتج ، بنظر غولدشميت ، عن كون الوحدات البنيوية المشحونة ايجاباً تغطس في غيمة من الالكترونات ذات التكافؤ المشترك .

ان الاجسام الصلبة تقوم على النوى الذرية والالكترونات وبنيتها هي بحيث ان النظام الكامل من النوى والالكترونات يكتسب الشكل المطابق للطاقة الكامنة الدنيا . ان تماسك البلور هو على علاقة بمتانته الميكانيكية . ويمكن التنبّوء بان قساوته ذات علاقة بالسمة وبالمسافات المتبادلة بين جزيئاته .

وقد درست هذه المسألة من قبل آ . ريس A. Reis ول . زيمرمان L. Zimmermann (1920-

1926) ثم من قبل أ . فردريك E. Friedrich وأخيراً من قبل غولـدشميت (1927) الذي بيّن انـه في سلسلة وبدون شكل معين تتناقص القساوة بذات الوقت مع المسافة بين الايونات .

وهنـاك عمل مهم قـام به ل . بـولنـغ L. Pauling (1927) واكمله و . زاكـاريـازن (1931) W. Zachariasen تناول الحساب النظري للأشعة الايونية ، في غالبية العناصر ، بالنسبة إلى الشبكات من نمط NaCl . وركز بولنغ حساباته ، بآنٍ واحدٍ على معطيات تجريبية وعلى نظرية البنية الذرية داخل مفهوم الميكانيك التأرجحي الذي قال به شرودنجر Schrodinger .

وبالنسبة إلى البنيات الايونية ، استخرج بولنغ (1929) أهمّية مفهوم التناغم أو عدد ذرات نوع ما مجموعة حول ذرات من نـوع آخر. إنّ نسبة أشعة الايـونات إلى اشعـة الكاسيـونات (cations) مرتبطة بالتناغم (أو بعدد التناغمات) . ان هذا المفهـوم هو انعكـاس لسمة مهمـة في البنيات غيـر العضوية ، علماً بأن هذا المجموع المنتظم من الايونات ، حول الكـاسيـونـات مثلاً ، يستمـر حتى عندما لا يقتضيه التناظر . وقد عمل هذا المفهوم على تقدم معرفتنا بـالانماط البنيـوية ، خـاصة في عائلة السيليكات (ب . ي . وارن B. E. Warren 1929 ؛ ول . براغ 1937) .

التشـاكل وتعـدّد الأشكال ـ ان المعـارف المكتسبة حـول البنية البلورية بفضل اشعـة X قد أتاحت اعطاء تعريف ادق للتشاكل .

ويمكننـا ، مع غـولدشميت Golschmidt (1926) اعتبـار المـواد ذات الصيـغ الممـاثلة وذات البنيات البلورية المتماثلة ، تشاكلية أي مركّبة من الذرات أو الايونات ذات الابعاد النسبية ، وذات الاستقطابيات المتشابهة ، مثلاً NaCl و PbS .

ان الدراسات حول التحولات المتعددة الاشكال قـد دفعت إلى الامام مجـدداً بفضل تحليـل البنيات البلورية بواسطة اشعة X .

لقـد بحث ف . واليـرانت F. Wallerant (1904) اصـل تعـدد الشكـل ، ودرس ج . تـامـان G. Tammann (1903) تـأثير الضغط ودرجـة الحرارة على حـالة المـواد المتعددة الاشكـال . وبيّن غولدشميت (1926) ان تأثير درجـة الحرارة على استقـطاب الايونـات هو العـامل الـرئيسي في تغير البنية في المواد المتعددة الاشكال . واقترح م . ج . بورجر M. G. Buerger (1936) نظرية حركيـة للتحولات المتعددة الاشكال ، عند درس العلاقات بين التنـاظر في البنيـة وتناظـر الذرات المكـونة الخاضعة للاضطراب الحراري .

التحليل الكيميائي لاشباه المعادن ـ ان المعارف حول التكوين الكيميائي لاشباه المعادن قد أفـادت في القرن العشـرين من تقدم التقنيـات في الكيميـاء التحليليـة وفي الفيـزيـاء وفي الكيميـاء الفيـزيائيـة . ان الطرق المعـروضة في « كتـاب تحليل اشباه المعـادن الصـوانيـة (السيليكـاتيـة) والصخـور » الذي وضعـه ف . و . هيلبرانـد F. W. Hillebrand (1900) قد أتـاحـت تحسين كمية التحليلات وتركيز انتباه اكبر على معايير بقايا العناصر .

وفيما بعد ، سنـة 1920 ، أجريت تحسينـات عدة خـاصة على تحليـل السيليكات بـاستعمال

المنشطات العضوية ، وبادخال الطرق الفوتومترية [التصويرية] لقياس بعض العناصر ثم ، في حالة المعادن ، لاجراء التحليل الالكتروني تحت ضغوطات متدّرجة (لاسيور ، A. Lassieur ، 1923) .

ان العديد من تحاليل الصخور واشباه المعادن قد ظهر في الادب الجيولوجي : وآلاف تحليلات الصخور النارية جمعت ونوقشت من قبل هـ . س . واشنطن (1917) H. S. Washington في حين قدمت كتب ك . دولتر C. Doelter ، وهنتز Hïntze و أ . س . دانا E. S. Dana ، العديد من تحاليل اشباه المعادن .

ان طرق التحليل الطيفي قدمت خدمات جلى من أجل التحديد السريع للعناصر الموجودة بكميات صغيرة في اشباه المعادن . لقد عرض آ . دي غرامونت A. de Gramont الطريقة المسماة طريقة الاملاح المذابة لدراسة اشباه المعادن غير الموصلة ، وطريقة « الخطوط القصوى » من أجل تقدير البقايا والآثار . ان اعمالاً عديدة جديدة (اهرنس Ahrens ، 1951 ؛ ر . ل . ميتشل R.L. Mitchell ؛ 1956) أوصلت إلى تحديد سريع للمقومات القوية في أغلب العناصر .

ان التحليل الميكروسكوبي الكمي قد تطور أيضاً بنجاح ، باستعمال المنشطات العضوية التي تعطي تفاعلات تلوينية (طريقة « اللمسة ») ثم وضع طرق تصويرية تلوينية Chromotographique . وأخيراً ان تحسين التحليل الكيميائي بواسطة المطيافية في بهرة أشعة X (ج . فون هفسي G. Von Hevesy ، 1932) قدم وسيلة ثمينة للبحث السريع عن العناصر ؛ وأتاحت التقنية الحديثة تقنية « المسابر الميكرو الالكترونية » (ر . كاستنغ R. Castaing ، 1955) في أغلب الاحيان دراسة سطح يبلغ قطره ، بالكاد ، ميكرون [واحد على مليون] .

ان المحاولات البيروغنوستية (Pyrognostique) ، المفيدة جداً للكشافين ، من اجل التحديد السريع على الأرض ، قد تحسنت بشكل ملحوظ من حيث فعاليتها ودقتها من قبل آ . برالي Braly (1926-1921) .

التحليل الحراري ـ ان الطرق المستعملة من قبل الفيزيائيين ـ الكيميائيين والمعدنيين لدراسة تحولات الاجسام الجامدة تحت تأثير الحرارة (ر . اوستن R. Austin وهـ . لوشاتلييه H. Le Chatelier وسالادين Saladin ، 1904) يمكن ان تستخدم بجدوى من قبل علماء اشباه المعادن .

فقد بين س . كوزو S. Koso و . ماسودا M. Masuda (1926) وج . اورسل J. Orcel (1935-1926) والانسة س . كايير S. Caillère (1936-1933) ، وس . بافلوفيتش S. Pavlovitch ، فعالية التحليل الحراري التفاضلي لدراسة السيليكيات المميّهة والهيدرات المعدنية . والطريقة تستعمل الآن بشكل واسع ، وقد أدخل عليهاالعديد من الباحثين تحسينات مهمة . ان التحليل الحراري الثقلي (م . غيشار M. Guichard ,1925) والتحليل « قياس التمدد » (آ . بورتفان A.

Portevin وب . شيفينـار P. Chévenard ، 1928-1944 ؛ وج . شـودرون Chaudron ، 1948) ، والتحليل الحراري المغنـطيسي ، تستخدم دومـاً من قبل علمـاء التعدين ، والأجهـزة المبتكرة التي ابتدعها ب . شيفينار تتيح انجاز هذه القياسات بدقة .

التحليل المباشر الآني ـ ان دراسة التجمعات شبه المعدنية تقتضي في أغلب الاحيان فصلاً دقيقاً ما أمكن لاشباه المعادن الموجودة في هذه التجمعات . ومن الافضل اللجوء إلى طرق فيزيائية لا تتلف اشباه المعادن (اختلاف الكثافة ، والخصائص المغنطيسية أو الكهربائية) .

ومن أجل الفصل الغرافيمتري ، تعمم استعمال السوائل الثقيلة المتنوعـة ، ونُصِح في بعض الحـالات ، الطرد المـركزي الـدوراني Centrifugation . وصنع العـديـد من نمـاذج الفـاصـلات المغنـطيسية (آ . ف . هـاليمونـد A. F. Hallimond 1930 ؛ وس . ج . فـرانـز S. G. Franz ,1958) وادخلت بعض التحسينات على وسائط الفصل الكهرستاتي (الكهربـاء الثابتـة) . وقد تم تحـديد الثوابت الكهربائية الثنائية di-électrique ، في اشباه المعادن الاكثر شيوعـاً . وفي حالـة الرسـوبات الصلصالية ، اتاح التحليل الفيـزيائي بـواسطة الـرحلان الكهـربائي Electrophorèse الـذي وضعه ب . أوربان P. Urbain (1937) تحقيق فصل جديد . وأخيراً ان التعـويم التفاضلي المستخـدم في الصناعة العملية يطبق أيضاً في بعض بحوث المختبر .

IV ـ الاتحادات شبه المعدنية في الطبيعة

تعـريف وتصنيف الانواع شبـه المعدنيـة ـ اتاحت نـظرية هـاويي Hauy وتصورهـا للجـزيء المكمّـل تركيـز مفهوم النـوع شبه المعـدني على أسس دقيقة واضحـة . ولكن النقاش يـدور حول الافضليـة الـواجب اعـطاؤهـا لكـل من المجمـوعتين من السـمـات : السمـة البلوريـة أو السمـة الكيميـائية ، من اجـل مقارنـة الانواع . ان مفهـوم الباعث البلوري الـذي ادخله ج . فـريـدل G. Friedel في مطلع القرن خَلَفَ منطقياً مفـاهيم الجزيء المكمّـل (هاوي) و « الجـزيء البلوري » (بـرافي Bravais ومالار Mallard) ؛ ومفهـوم البـاعث البلوري ، بحكم انـه أغنى ، أتـاح اعـطاء أساس أدق لتعريف النوع .

ان الصفـة الاساسيـة في النوع شبـه المعدني هي ذات طبيعـة جيومتـرية ، أي دوريـة ترتيب المادة : ان التصوير الاشعاعي البلوري اعطى لمفهوم الباعث معنى أساسياً أتاح توضيح العـلاقات الحقيقية بين السمات الفيزيائية في الوسط البلوري .

ان المواد شبه المعدنية الطبيعية التي لا شكل لها ، والزجاجيـة ، او المعجونيـة أو السائلة ، تظهر أمام اشعة X بنية غير منظّمة ، وتشكل في التصنيف مجموعات على حدة ، موضوعـة بجانب الأنواع الأكثر تجاوراً من حيث تركيبها الوسطي (آ . ن . ونشل A. N. Winchell ، 1949) .

ان التصنيف المقتـرح في القرن التـاسع عشـر اتخذ أسـاسـاً لـه التـركيب الكيميـائي ، مـع أخذه في الاعتبار السمـات البلورية . في القـرن العشرين ، اتخـذت المنهجية المقبـولة عمـوماً ،

منهجية پ . غروت (1904-1921) أيضاً كنقطة انطلاق التركيب الكيميائي ، ولكنها تحاول ان تبين كيف ان هذا التركيب ينعكس ضمن الشكل البلوري .

أدت النظريات الحديثة إلى تصنيف عام للبنيات البلورية ، ضمن أربع عائلات كبرى ، مرتكزة على انماط الارتباط التي أظهرها التبلر وهي : المعادن ، الخلائط الايونية ، الخلائط الوحيدة الاستقطاب ، الخلائط المتنوعة الاستقطاب . وتتميز الاجسام التي لا يظهر فيها الا نمط واحد من الترابط (تجانس الروابط) ، عن الاجسام ذات الوجود العائد إلى عدة انماط من الروابط (تباين الروابط) .

الا ان وجهة النظر البنيوية ليست المرشد الوحيد الذي يتدخل في التصنيف المطبق حالياً . ان التقسيمات فيها تتألف من فئات طبقات كيميائية اكثر مما تتألف من انماط بنيوية : عناصر معدنية natifs ، سولفورت ، اوكسيدات بسيطة ، اوكسيدات معقدة ، اوكسيدات مائية (هيدرو أوكسيد) ، كلورور ، كاربونات ، نيترات ، يودات ، بورات ، سولفات ، سيلينيات ، وتلورات ، وكرومات ، وفوسفات ، وزرنيخات ، وأخيراً العائلة الكبرى عائلة السيليكات .

وفي كل طبقة ، تتقرر التقسيمات المكونة للأنماط ، تبعاً للنسبة A/X ، وفيها يمثل A الايونات الايجابية (كاسيون) أو الذرات الكهربائية الايجابية و X يمثل الايونات السلبية (آنيون) أو الذرات الكهربائية السلبية (غولدشميت ، 1928-1931) . وترتب الانماط في كل طبقة تبعاً للنسب A/X المتنازلة ، الخ . في خطوطها الكبرى ، تتطابق مجملات الأنواع المتميزة على هذا الشكل مع التقسيمات الثلاثة البلورية الكيميائية الرئيسية التي تنبثق عن السمات البنيوية .

ان استخدام معطيات التبلر الكيميائي كان فعالاً بشكل خاص لفهم تكوين السيليكات . وقد بيَّن ف . ماشاتشكي F. Machatschki (1928) ، ثم ب . وارن B. Warren وو . ل . براغ (1928) ول . بولنغ L. Pauling (1929) الاهمية الواجبة للمجموعة تراهيدريك SiO_4 لتصنيف هذه المركبات التي تمثل ما يقارب من 95 % من القشرة الارضية . ويمكن بالتالي اعتبار السيليكات كمركبات من ذرات أوكسيجين ملتحمة بفعل السيليسيوم ، والالومينيوم وبعض العناصر الاخرى ، ويمكن تقسيم هذه العناصر إلى ثلاث فئات بحسب اسلوبها في الالتحام مع الاوكسيد لتشكل البنيات . حول هذه المبادىء تمّ اقتراح عدة تصنيفات للسيليكات (و . ل . براغ ، 1930 ؛ هـ . برمان H. Berman ، 1937 ؛ ك . ك . سوارتز C. K. Swartz ، 1937 ؛ هـ . سترونز H. Strunz ، 1941) ؛ وكلها تعالج نفس انماط البنية ، وتتطابق مع البنية المرتكزة على رصد السمات الشكلانية ، وعلى السمات الفيزيائية .

وفي التصنيفات الجديدة لاشباه المعادن تتيح الاعتبارات حول البنية البلورية ، ومفهوم الديادوشي diadochi المرتكز على المماثلة في الاشعة الايونية ، وعلى التكافؤ Valence وعلى تعويض الشحنات في البناء البلوري ، توضيح طبيعة المستبدلات التشاكلية .

ولكن مفهوم النوع هو اكثر دقة في السلاسل التشاكلية . اثناء تشكل شبه المعدن ، تحدث

التغيرات المحتملة في الوسط المولِّد ، وجوباً ، ولادة نوع جديد . ان تحول الركاز الاساس يمكن ان يحدث بشكل مستمر عن طريق استبدال ايونات أو ذرات في بنيته ، ولهذا لا يتوجب اعطاء النوع حدوداً جامدة جداً ؛ ان السلاسل المطلقة العشوائية من اشباه المعادن (مثل البلاجيوكلاز ، والياقوتيات) تشكل وحدات شبه معدنية طبيعية ، ويمكن ان توصف كانواع .

ان دراسات عامة حول مفهوم النوع قد قدمت من قبل ب . نيغلي P. Niggli (1946) وج . اورسل (1954) ون . غريغورييف N. Grigoriev (1960) .

شبه التوالد والتصنيفات شبه التوالدية ـ ان مفهوم شبه التوالد ، أو تداعيات أشباه المعادن ذات الاصل المشترك (بريتهوبت Breithaupt ، 1849) ، قد اغتنى بخلال القرن التاسع عشر بالعديد من الملاحظات ومن المعطيات التجريبية . وقد وضعت تصنيفات شبه توالدية من قبل آ . دي . لاباران A. de Lapparent (1900-1908) ، ومن قبل ف . آنجل ور . شاريزر R. (1932) Scharizer ؛ وتصنيف إ . كوستوف I. Kostov (1954) حاول ان يربط بشكل عام المبادىء الجيوكيميائية ، والبلور ـ كيميائية والتوالدية .

ان تصنيف آ . دي لاپاران يرتب اشباه المعادن بحسب تداعياتها وبحسب أنواع التربة : اشباه معادن صخورية أساسية (بركانية ، أو تحولية) ، عناصر مخابىء شبه معدنية لا تحتوي على معادن ، وقود شبه معدني ، عناصر مخابىء معدنية (ركاز المعادن minerais) . وتشكل التصنيفات شبه التوالدية رابطاً مفيداً جداً بين التصنيفات البلورية الكيميائية وتصنيفات علم الأحجار . وقد عمّق د . س . كورجنسكي D. S. Korjinski (1935-1957) دراسة الاسس الفيزيائية الكيميائية في تحليل الاشباه التوالدية من اشباه المعادن ، وذلك بادخال المفاهيم حول التوازنات الكيميائية وطرق الترموديناميك الكيميائي .

أشباه المعادن المشعة ـ يجب أن تكون أشباه العادن المشعة موضوع اشارة خاصة لأن أكتشاف الراديوم من قبل بيار وماري كوري ، ثم الطريق الخصب جداً المفتوح بفضل دراسة الظاهرات المشعة الناشطة هي نتيجة لدراسة البشبلند Pechblende ، وغيره من أشباه المعادن من الاورانيوم والثوريوم (راجع بهذا الشأن دراسة ج . تياك Teillac ، الفقرة I ، الفصل X من القسم الثاني) . في القرن العشرين ، ركز العديد من علماء المعادن على دراسة هذه الاشباه . فضلاً عن ذلك ، ومن جراء الاساليب المتنوعة المستخدمة لتحديد المدة المطلقة للازمنة الجيولوجية (أنظر دراسة ر . فورون R. Furon في الفصل اللاحق) ، بدا النشاط الاشعاعي هو الادق . ان طرق القياس ترتكز على معرفة حقب تفكك العناصر المشعة الموجودة في اشباه المعادن .

علم الصخور ـ بخلال القرن العشرين ، ارتكز علم الصخور على معطيات علم التعدين ، فاستفاد من التقدم في الكيمياء ومن الكيمياء الفيزيائية . ان تقنية الميكروسكوب الاستقطابي polarisant قد استكملت واتاحت بدقة تحديد المكونات شبه المعدنية لصخور السيليكات ، وهندسة تجمّعها . وتم جمع عدد صخم من التحليلات الشاملة حول الصخور البركانية .

ومنذ سنة 1890 اقترح ف . لونسون ـ ليسنغ F. Loewinson-Lessing تصنيف الصخور بحسب « معامل حموضتها » أو نسب عدد جزيئات الاوكسيجين الموازي للموجود من S_iO_2 إلى الموجود من جزيئات الاوكسيجين في القاعدة bases ، ولكن هذا التصنيف قلّما استعمل خارج روسيا ، وكذلك تصنيف آ . اوسان A. Osann (1899) . وادخل ف . فوكي F. Fouqué وآ . ميشال ـ ليفي A. Michel-Lévy (1889-1897) بصورة منهجية المعطيات الكيميائية في تصنيفهما الذي ارتكز أساساً على التركيب شبه المعدني وعلى البنية ، فكان منطلق التصنيفات الحديثة .

في سنة 1903 قرر كروس Cross وايدنغ Iddings وبيرسون Pirsson وواشنطن تصنيفاً مرتكزاً على مفهوم « التركيب الاحتمالي » للماغما الاساس ، وعلى اعتبار « أشباه المعادن المعيارية » ، وعلى « المعايير الماغماتية» ،وفي سنة 1920 اقترح پ . نيغلي P. Niggli نمطاً من التصنيف كيمائياً خالصاً استعمل غالباً وبآنٍ واحد مع النمط الآخر .

ان علم الصخور حمل منذ زمن بعيد اسم « البتروغرافيا » الذي خصصه بعض المؤلفين الانكليز والاميركان للقسم الوصفي من هذا العلم . واستعمل آ . لاكروا A. Lacroix عبارة ليثولوجي (« علم الأحجار ») بالمعنى الوراثي génétique ، كما فعل من قبل بعض علماء المعادن في أواخر القرن الثامن عشر . واعترض ڤ . بليانكين V. Béliankine (1953) ضد تمييز حاسم بين المظهر الوصفي ووجهات النظر النظرية والتفسيرية . واعتبر ج . اورسل (1957) ان البتروغرافيا موضوعها الاساسي هو دراسة شروط تكون الصخور ، وعمليات نشأتها .

ان التصنيف الصخري الذي وضعه فوكيه Fouqué وميشال ليفي Michel-Lévy قد عُدِّل واغني من قبل آ . لاكروا A. Lacroix الذي جعل منه اداة بحث رائعة لمعرفتنا بعمليات تحول الصخور . وقد اهتم لاكروا دائماً بتحديد العلاقات المتبادلة بين الصخور في الزمان وفي المكان، وسعى إلى تحديد شروط ولادتها ، فناقش بآنٍ واحد الملاحظات شبه المعدنية والمعطيات الكيميائية . وبالنسبة إلى هذه الاخيرة ، ارتكز على التصنيف الكيميائي شبه المعدني الذي تبناه علماء وصف الصخور الاميركيون ، الا انه لم يأخذ من هذا التصنيف الا استعمال « المعايير » (paramètre) الماغماتية التي تفسر التركيب الكيميائي « المحتمل » للصخر .

وبفضل هذه الطريقة التي تجمع وجهات النظر الثلاث الموجودة في علم اشباه المعادن ، والكيمياء ، والجيولوجيا ، استخرج لاكروا بشكل خاص المفاهيم الاربعة « الحجرية » عن اشباه المعادن العرضية symptomatiques ، وهي انماط متنوعة الاشكال ، أو أوجه من التغيرات الصخورية ، وسلاسل صخورية ذات مدلول كبير عام لدراسة ولادة الصخور البركانية . وقد اوضح لاكروا من جهة ثانية مفهوم المناطق الصخرية أو الماغماتية وهو مفهوم أدخله پ . نغلي P. Niggli وهولمز Holmes .

ان مفهوم النوع في علم الصخور يجب ان ينظر إليه بمرونة بالغة . فقد اشار لاكروا إلى أن الشقوق المتصورة في التصنيفات « هي عدم تتابعات أدخلت تسهيلاً أو بالضرورة في مجملات متتالية ، انما يجب أن تنتقى بشكل يجعل وجهات النظر التعدينية والكيميائية والتوالدية متطابقة » .

وقد انتقد و . ي . تروجر W. E. Troger (1955) مفهوم « نمط الصخور » ووجهة النظر التوالدية في التصنيف ، وبالعكس أشار هـ . ترميه H. Termier وج . ترمييه G. Termier (1953) إلى خصوبة التصنيف الوراثي للصخور البركانية والمتبلرة .

علم البنيات ـ Structurologie ـ لقد افتتح ب . سانـدر B. Sander وو . شميدث W. Schmidt هذا المجال العلمي الجديد في علم الصخور ابتداء من سنة 1925 . وبالدراسات الميكروسكوبية التي تستخدم البلاتين التيودوليت ، بيّن هذان الباحثان ان أشباه المعادن التي تكون الصخور ، قد تلقّت أثراً ميكانيكياً زخيماً ، فشكلت تجمعات لها فيما بينها علاقات تناظر مميزة . ان هـذه الطرق التي ادخلت إلى فرنسا وحسنت من قبل ف . كروت F. Kraut ابتداء من سنة 1945 ، اكـدت ، في مجملها ، تماثل عملية تشويه الصخور مع ظاهرات الانسياب اللدائني المدروس في الريولوجيا Rhéologie (علم الدفق) .

نظرية التحولية ؛ الصخور الماغماتية والتولد الصخري العميق ـ لقد عرف الجيولوجيون والمعدنون في القرن التاسع عشر التحولية بالملامسة ، والتحولية الاقليمية أو العامة . وقد درس آ . لاكروا (ابتداء من سنة 1888) التجمعات شبه المعدنية الحارئة في هالات ملامسة الصخور البركانية ، وبيّن أهمية الدور الذي تلعبه المنتوجات المتطايرة المنبعثة عن الماغما ، بالنسبة إلى نمطي التحولية ، المرتبطين بشكل وثيق فيما بينهما . وهو بهذا قد أكّد الافكار التي قال بها ميشال ـ ليفي في أعماله حول الغرانيت . ان بحوثه حول الصخور البركانية قد أوضحت التحويلية الناتجة عن الحمم (1893) ومفهوم التحوّل الغازي الذاتي autopneumatolyse (1906) .

وكانت فرضية التحولية الاقليمية التي صاغها ديلس Delesse وايلي دي بومونت Elie de Beaumont ثم لوكا شيفيتش Loukachevitch (1908) وطورها فان هيز Van Hise وف . بيك F. Becke موضوع دراسات عدة . وعند مستوى الملاحظة لهذه المجملات الكبرى التي تؤلفها التشكلات البلورية الممتدة ، يرتكز التصنيف على مفاهيم مناطق العمق (ف . غروبنمان V. Grubenmann ، وج . جونغ J. Jung وم . روكس M. Roques) .

ان كل منطقة تتحدد بسمات شبه معدنية وكيميائية وهي تتطابق مع مراحل خاصة من تطور الشروط الحرارية المتحركة في الوسط ، حيث تتتابع عمليه التبلر في الكتل شبه المعدنية المدروسة ، مع اقترانها غالباً بتولد مادة أو تحولات تعزى إلى تنقلات أديمية Tectoniques (التحوّل التراجعي ، بيك Becke ، 1909 ؛ وهو نظرية قال بها ف . اوبروتشيف V. Obroutchev (1929) وآ . هاركر A. Harker والمدرسة الفرنسية) .

وعلى صعيد رصد كتل الجبال المحدّدة بالصخور أو بالاجهزة البركانية ، ان مفاهيم الماغمات والتفارق الماغماتي ، هي في أساس التصنيفات شبه المعدنية .

ولكن المجالين لهما جذع مشترك : انه دراسة التوليد الصخري العميق . وقد وضعت نظريات متنوعة بهذا الشأن انطلاقاً من معطيات متعلقة بالتفاعلات البركانية وبالتحولية . ان مسألة

نشأة الصخور الغرانيتية هي فيها « حجر المحك » .

في العمق ، انّ كل علماء الجيولوجيا تقريباً ، وعلماء وصف الصخور يقولون ان صخوراً ترسبية تتحول بدون ذوبان بفعل التحولية إلى صخور بلورية مكونة من نفس اشباه المعادن التي تتكون منها الصخور البركانية السطحية .

ومن جهة أخرى ان بعض الصخور الحبيبية (مثل الغرانيت) تمر بمراحل من الانتقال إلى صخور تحولية . ويوجد في أغلب الاحيان منطقة مركبة معقدة من الصخور الغرانيتية تزرق صخوراً تحولية (منطقة الميغماتيت) . ان تفاعلية التحول من الصخور الرسوبية أو البركانية إلى صخور غرانيتية قد أشار اليها ج . ج . سيدرهولم J. J. Sederholm تحت اسم « التناسخ التصهّري » (Palingenèse) .

وتتواجه عدة نظريات لتفسير هذه الوقائع . « الجموديون » يظنون ان الغرانيت ، مثل الصخورر التحولية ، قد تشكل بالانتقال من حالة الجمود البلورية في الصخور السابقة الوجود ، دون مرور بحالة ذوبان وسيطة . أما « السيوليون » و « الماغماتيون » فبعكسهم ، يفترضون ان الغرانيت قد مر بمرحلة وسيطة ، حالة ذوبان . ان « الميغماتيين » المتمثلين بالمدرسة السكندينافية التي يتزعمها سيدرهولم Sederholn ، لهم موقف وسط ويصفون بدقة ظاهرات « التحوّل التصهّري » التي ولدت الميغماتيت . ان وجهات النظر هذه ، كلها ، قد نوقشت بحماس بالغ .

فمنذ سنة 1910 ، تلقت النظريات الماغماتية دعماً من المعطيات التجريبية التي قدمها ن . ل . بوين N. L. Bowen ؛ واستخدم پ . نيغلي P. Niggli وتلامذته هذه التركيبات ، والعديد من التحليلات المتناسقة بواسطة طرق بيانية ، ليبينوا أصل غالبية الصخور المتحبحبة بواسطة التفاضل الماغماتي .

فضلاً عن ذلك ، ان المدرسة السكندينافية قد دعمت وجهة نظر المدرسة الفرنسية (ميشال ليفي ، لاكروا وپ . ترمييه P. Termier) حول تناثر العناصر الكيميائية انطلاقاً من المنطقة الماغماتية وصولاً إلى المناطق التحولية ، مع توليد أشباه معادن جديدة .

ولكن في العمق تناولت المناقشات حالة المادة ، في بداية التغيرات العميقة ؛ ولكن حالة الاشكال غير المستقرة oligophasé أو حالة الاشكال المتحركة dynamomorphe (ل . غلانجو L. Glangeaud 1943 ، 1947) ، تتوافق مع حالة من الاضطراب الذري يسهل عملية هجرة الذرات .

ان هـ . وج . ترمييه لاحظا ان الجموديين لم يتوصلوا بعد إلى نظرية متماسكة حول نشأة الصخور ، في حين ان الماغماتيين قد بذلوا جهداً مشكوراً في التركيب المرتكز على قانون المراحل (نيغلي ، 1936) . لقد نازع الجموديون ، على الاقل ، في كتاباتهم الاولى ، في دور الماء في عملية التحول وفي العملية الغرانيتية ، وارتأوا القول بهجرات كيميائية « داخل الجامد » وعلى الناشف (ر . پرين R. Perrin وم . روبولت M. Roubault) مرتكزين على ملاحظات

اجريت في جوانب الافران التعدينية (1939) . الواقع ان تحليل الغازات المجتناة بتكلس الصخور التفجرية والبركانية ، وتحليل الأبخرة البركانية ، ووجود (في بعض اشباه المعادن) بقايا لزجة أولية (ج . ديشا G. Deicha) ، ووجود أوكسيدريل OH في تشكل العديد من أشباه المعادن الصخرية ، كل ذلك يدل على أن الماء قد لعب دوراً مهماً . ان تجارب ج . ويارت (1947) Wyart ، وتجارب مدام كريستوف ـ ميشال ـ ليفي (1953) ، وتجارب هـ . س . يودر H. (1952) Yoder تؤكد ان هذا الدور كان أساسياً ولا يمكن ان يقارن بدور المساعد كما يفترض ذلك « الجماديون » .

في المناطق الكبرى من التحولية الاقليمية ، ترسخ الغرانيت أحياناً أثناء حركات التعرّج بالذات (الغرانيت السنسينيماتي Syncinématique ذو المسار الطبقي Stradoide) ؛ وفي بعض الاحيان يصعد عبر سلاسل سبق ان تعرّجت ، فتكونت جبال الغرانيت المحصورة التي ارتبطت بها مآو مهمة معدنية. ان نظرية المناطق بالعمق ، في التحولية الاقليمية قد ناقشها الجيولوجيون السوفيات ، وخاصة ن . ب . سيمينكو N. P. Semenenko (1953) . والتحليل المعمق لمشاكل التحولية ، المرتبطة بمشاكل عملية في المناجم ، دلَّ على ان التفاعلات الأديمية ، والماغماتية والتحولية مرتبطة فيما بينها ، وان هجرات وتراكمات لعناصر دخلت في تركيب تربات المعادن ، هي على اتصال مع مظاهر ماغماتية لاحقة جاءت بعد التعاريج .

وقد قاوم د . س . كورجنسكي Korjinski (1940) مفاهيم التحولية التي تعتبر ان الصخور قد تكيفت مع شروط الحرارة والضغط . وقد ظن ان التفاعلات التحولية بدأت فقط بوجود المياه أو المحاليل ذات الشكل السائل ، والتي يعتبر الماء فيها المكون الرئيسي .

وحاول العديد من المؤلفين ان يوضحوا مفهوم الماغما . وهذا التعبير الذي استعمله لأول مرة فوجلسان Vogelsang يعرف عموماً بأنه المادة الاساس في الصخور المولودة .

ويرى ايدنغ Iddings وواشنطن ان « جياً من الماغما » ليس اناء يحتوي سائلاً ، بل هو نوع من حالة أرضية ، قد تتحقق في أعماق متنوعة بحسب الظروف المحلية للتركيب الكيميائي ، للضغط ولدرجة حرارة . ويرى دفيلييه Duvillier (1947) بأن سيولة صخرة جامدة قد تحدث من جراء مجيء مياه متسربة شعرياً بفعل تحركها الاستثنائي في حالة السيولة المطلقة . وشدد ف . س . تورنر Turner وج . فرهوغن J. Verhooguen (1951) على ان سيولة الماغما تظهر حتى لو ان قسماً منها فقط هو سائل .

ان مسألة معرفة وجود أو عدم وجود ماغما اولية قد نوقشت بشدة . فقد اعتقد العديد من الجيولوجيين ان الماغما البازالتية قد تكون هي الماغما الاولية التي منها تكونت الصخور النارية بفعل التبلر المتجزىء ، اي تمثل المواد المتنوعة وتطاير المواد القابلة للتطاير . إلا ان دراسة الاحجار النيزكية تبدو وكانها تدل على ان الارض في قشرتها العميقة « المعطف » تتألف من مواد اولية فوق قاعدية ، ومجمل القشرات الغرانيتية والبازالتية لا يمثل الا 1,2 إلى 1,4 % من مجمل حجم الارض .

ان متتالية التفارق البسيطة بفعل الجاذبية الارضية وبفعل التبلر لا تبدو كافية لتفسير تشكل المنتوجات البازالتية والغرانيتية. ويبدو وكأنه قد حصل ذوبان مستمر واستخراج لخلائط أصهرانية من الاكثر قابلية للذوبان ضمن شروط ديناميكية مؤدية الى ذوبان والى تحجرات متكررة (A. E. Fersman, 1933; A. Holmes, 1932) . لقد ابديت ملاحظات متنوعة بهذا المعنى من قبل باحثين مختلفين . ومن الفرضيات الاكثر جدة ملاحظة پ . ن . كروبوتكين P. N. Kropotkine (1953) الذي يعتبر الماغما الغرانيتية الطفولية تمثل المادة الاساسية للكتل السيالية Sialiques (من قشرة الارض) ، الا ان القسم الاكبر من الماغما الغرانيتية هو من اصل صخري الخلق ، وقد ولد بفضل تفاعليات نشوء الجبال ، بخلال تقليب الصخور الرسوبية والتحولية .

نذكر ايضاً انه بفضل قوانين الترموديناميك والتبلر الكيميائي قام پ . نيغلي P. Niggli (1938-1935) وآ . فرسمان A. Fersman (1934-1937) بدراسة في العمق لتطور الماغما ومشتقاتها . وقد عُرفا بمراحلها الاساسية واكدا على الفكرة القديمة جداً القائلة بربط منشأ المآوي شبه المعدنية الخيطية بمنشأ الصخور النارية .

دراسة المآوي شبه المعدنية ـ ان علم ولادة المعادن métallogénie يعنى بدراسة التفاعليات التي ولدت تجمعات غزيرة لمادة كيميائية ما ، وقد استفادت من الانجازات التي تحققت في مختلف فروع علوم الارض وفي مجال الكيمياء الفيزيائية .

ان القربى بين علم الاحجار وعلم ولادة المعادن قد ظهرت في العديد من الاعمال منذ اعمال ل . دي لوني L. de Launy (1897-1913) . ان المآوي المعدنية يمكن ان تصنف ضمن فئتين كبريين بحسب ما اذا كان منشؤها داخلياً (اي متولدة من تفاعليات حدثت داخل القشرة الارضية) أو خارجياً (اي ناشئة عن تفاعليات حدثت في المناطق السطحية من القشرة الارضية ، ومن جراء هذه الواقعة ، فهي ترتبط بنشاط الاجسام الحية ، بما فيها الانسان) .

لقد تناولت البحوث الرئيسية بنية المناطق المتمعدنة ، وعلاقاتها مع الصخور المغلِّفة كما تناولت مراكز النشاط الماغماتي ، والتحولات في المستودعات المعدنية ، بخلال الحقب الجيوبولوجية (ل . دي لوني Launay ، وو . ت . لندغرين Lindgren وو . هـ . امونس Emmons ، وپ . نيغلي وآ . فرسمان) . وهناك فصل اساسي يعالج التركيب التعديني ، كما يعالج بنية وتشكل الركازات التي تتألف منها هذه المآوي . وقد تمت انجازات ضخمة في هذا الطريق بفضل الفحص الميكروسكوبي بواسطة الضوء المكثف المعكوس (و . كمبل ، 1906 Campbell ، ج . مسوردوك Murdoch ، وهـ . شنيدرهوهن Schneiderhohn وپ . رامدوهر Ramdohr ؛ وج . اورسل 49-1926, Orcel ؛ وج . م . شوارتز Schwartz ؛ وف . ن . كامرون 1961-1950, Cameron) .

ان دراسة المتتاليات المعدنية والتجمعات المعدنية قدمت ملاحظات وفرضيات مفيدة . وخاصة ملاحظات امونس (1917-1933) ولندغرين (1930-1936) حول التوزّع المناطقي للتمعدن حول مراكز النشاط الماغماتي . وقد حوربت هذه النظرية من قبل العديد من الجيولوجيين

السوفيات على اساس من الملاحظات الجديدة ؛ واقترح ف . ي . سميرنوف Smirnov (1950) فكرة ترسب حدث بفعل « النبضات » على عدة مراحل .

البتروغرافيا حول الصخور الرسوبية ـ ان دراسة المآوي الركازية ذات المنشأ الخارجي تدخل في علم وصف الصخور المعني بالصخور الرسوبية ، وهو علم اخذ الكثير من الاهمية في القرن العشرين من جراء دوره في الابحاث البترولية . ان الدراسات العميقة التي قام بها ل . كايو L. Cayeux (1897 حتى 1941) قد ساهمت في تثبيت الوجه الحديث لهذا العلم .

ان التصنيفات المنوعة المقترحة قد استعانت بمجموعات مختلفة من الخصائص المعتبرة كاساسية : عناصر الترسب ، التركيب الكيميائي ، قصب أو حجم العناصر ، دور الاجسام ، أوساط الترسب . وارتكزت دراسة آ . كاروزّي (1953) على الطبيعة الفيزيائية أو الكيميائية لدى عناصر الترسب فتوصلت الى اعتبار مجموعة الصخور الحتاتية المنقولة أو المثبتة (الرمال ، الدلغام ، الصلصال ، الركام ، والمتجمعات) ، والى اعتبار مجموعة الصخور ذات المنشأ الكيميائي أو البيولوجي ، والتي يتميز بعضها (الصلصال والصخور الفحمية : الفحم الحجري والليتيت ، والبوكسيت ، وركاز الحديد السرئي (الاووليتي) ، والصخور الفوسفاتية ، والصخور الملحية) بأهمية صناعية كبيرة . ان مجموعة الصخور التي برزت فيها هذه الانجازات بشكل محسوس ، هي مجموعة الصخور الصلصالية .

وادى تحسين الطرق الاستقصائية الى وضع تعريف اكثر دقة للانواع الركازية ولمختلف الاوجه التي ارتداها ركاز واحد من الاوساط الصلصالية ، ولاسلوب اتحادها بانواع اخرى من الركازات ، ولتحولاتها ولنظام تتاليها في الوسط الطبيعي .

وعلى اثر بحوث هـ . لوشاتلية (1914,1887) وآ . لاكروا (1894) وآ . فرسمان (1913) فان اعمالاً عديدة قد وسعت معارفنا حول تكون وحول تولد الفيليت الصلصالي . وعرض هذا الفيليت في المؤلفات الحديثة التي وضعها ف . ف . تشوكروف Tchoukhrov (موسكو ، 1955) ، وش . براون Brown (لندن ، 1961) وس . كاييروس . هنين Hénin (باريس 1963) . وقامت مجموعات عمل في عدة بلدان وتم التنسيق بين نشاطاتها بفضل لجنة دولية هي السيبيا (C.I.P.E.A) .

ان ركازات الحديد الرسوبي التي درست في مطلع القرن من قبل ل . كايُو كانت بعد ذلك موضوع بحوث على الصعيد العام والاقليمي .

نذكر بشكل خاص بحوث و . غرونر Gruner 1922 ، وآ . ف . هاليموند 1925, Hallimond ؛ وبحوث آ . س . مور Moore وج . ي . ماينارد 1929, Maynard ؛ وآ . أو . هايس Hayes 1929, 1915 ؛ وادت اعمال الانسة كايير وف . كروت (1947-1955) الى الاعتقادات بان الركازات السرئية في منطقة اللورين الفرنسية نتجت عن تحطم مركب صخري تشكل فوق سطح قاري ، تحت مناخ حار ورطب في لياس .

ان البوكسيت بأنواعه واللاتيريت اللذين لهما أهمية خاصة من أجل دراسة تفتت الصخور الصوانية والفحمية ومن أجل استخراج الالومينيوم كانا موضوع العديد من الدراسات منذ الدراسات التي قام بها ل . فرمور Fermor (1912) .

ان دراسة تكوين الفحم الحجري كانت موضوع بحوث ميكروسكوبية تطورت في اوروبا وفي الولايات المتحدة منذ اعمال م . ش . ستوبس Stopes (1919-1935) ، واعمال هـ . بوتونيه Potonié (1924) وآ . دوبارك Duparque (1927-1933) .

٧ ـ الكيمياء الارضية والكيمياء الكونية

ان كلمة كيمياء ارضية قد استعملت سنة 1838 بفضل السويسري شونبين Schonbein . ولكن تطور هذا العلم الحقيقي قد تحقق في القرن العشرين . فظهرت ثلاثة اتجاهات اساسية :

1 ـ الدراسة المنهجية للتجمعات المعدنية الركازية ، وقد اطلقها بريتهوبت Breithaupt (1949) ، أدت إلى تعريف مختلف أنواع المتتاليات الركازية التي شكلت بعض الخطوط الممتدة الوراثية الاساسية والى وضع العديد من الترسيمات الاجمالية (ف . ساندبرجر Sandberger ,1885 : سلاسل المياه الحارة ؛ و . س . بروغر ، 1890 : السيليكات ؛ ڤانت هوف ، 1903 : مناجم الاملاح ؛ آ . فرسمان 1932 : البغماتيت ، الخ) .

2 ـ النشوء المعدني Metallogénie الذي سبق ، من بعض الوجوه ، الكيمياء الارضية الحالية ؛

3 ـ الكيمياء الارضية بالذات وقد حاولت ان تعمق المسائل النظرية التي طرحها اصل توزيع العناصر الكيميائية وتركيباتها في مختلف قشرات الكرة الارضية . ان هذا العلم هو الامتداد الطبيعي لعلم التعدين والتبلر ؛ ثم انه ليست المصادفة هي التي جعلت صناعها الاولين الكبار : ف . و . كلارك Clark ، و . ج . ڤرنادسكي Vernadski وف . م . غولد شميث من علماء التعدين الممتازين . ثم ان الكيمياء الأرضية قد استفادت من انجازات الكيمياء الفيزيائية ومن الفيزياء الذرية ، وهي انجازات أتاحت فهماً أفضل للتحولات التي أصابت الوسط البلوري بخلال تطور القشرة الأرضية .

وعند مستوى آخر من التجريد أدخل باحثون متنوعون ، بعد ڤرنادسكي (1924) وبعد فرسمان (1933) مفاهيم الدورات الكيميائية الارضية ، والغلافات المائية الحارة في القشرة الارضية ، وكذلك تعميمات مختلفة مرتكزة على التصنيف الدوري الذي وضعه مندلييف (راجع كتاب غولد شميث ، طبعة جديدة 1954 ، وكتاب تيو . ج . ساهاما Sahama وك . رانكاما 1950, Rankama) .

ان الانجازات الحديثة في الفيزياء النووية قد اغنت الكيمياء الارضية بمجال جديد من البحوث يرتكز على مفهوم التنظير المشع isotopie ؛ وأهمية هذا المجال النظرية والعملية تأتي من ان توزيع النظائر قد يوضح تفاعليات التشتت والتركز في العناصر الكيميائية .

وهكـذا ، وبصورة تـدريجية أعـطى المعدَّنُ ، المتخصص بكيمياء الأرض ، لفكـرة الـذرة الافضليـة على فكـرة الجنس أو النـوع المعـدني ؛ ولم يكن لينسى ، مـع ذلـك ، ان الاعتبــارت الكيميائية الارضية لم تكتسب كل قيمتها الا اذا ربطت بمفهوم النوع المعدني بكل معناه .

ومن الناحية الطاقوية ، ان الانتقال الى حالة البتلر تمثل تفاعلية تحولية في حالة اكثر استقراراً واكثر فقراً بالطاقة . فكلما اعطى الايون طاقة أكثر ، مساهماً في تكوين بناء بلوري ، كلما كان اكثر اهلية لان يتجمع في كتل مهمةٍ في القشـرة الارضية . ان خصـائص هذه الشبكـات البلورية تتنـوع انماطها ، وبفعل قيمة المسـافات الشبكيـة ، وبفعل العـلاقات بين الـطاقات الاتصـالية التي يمكن تعريفها وتحديدها في البلور . ان مفهوم الحقل البلوري الذي ادخل بهذا الشكـل قد اتـاح التعمق اكثر في جوهر البلور بالـذات ، وفي بنيته ، ولكن عـالم الكيمياء الارضيـة مضطر الى تكييف هـذه البحوث مع المتطلبات الخاصة بعلمه .

هناك مرحلة مهمة في هذا المسعى قد تم اجتيازهـا بفضل ادخـال آ . فرسمـان (1937) فكرة المعاملات الطاقوية (Vek و Ek) للتعبير عن الـطاقة الشبكيـة . ان هذه المعـاملات ، الحـاصلة سنداً لمعادلة آ . كابوتنسكي Kaputinski (1933) ، قد حددت كمية الـطاقة التي يبثهـا ايون عنـدما ينتقل من حالة التشتت الى حالة الايون أو الـذرة المدخلة ضمن شبكـة بلورية ، كمـا عرفت درجـة الجمودية والصلابة في الارتباطات ما بين الذرات . ان هذه النظرية ، وان كانت تنظر بصـورة ضيقـة وحصرية الى نمط الارتباط الايوني ذي الصفة الكهربـائية الثـابتة ، قـد حُدِدت بفضـل المكتسبات الحديثة في العلم البلوري الكيميائي وفي الفيزياء الذرية ، وهي ما تزال ذات اهمية اكيدة .

وتشمل الكيمياء الارضية ايضاً دراسة قوانين توزيع العناصر الكيميائية في الكرة الاحيائية (La biosphère) (و . ج . ڤرنادسكي ، 1929) . ان اهميـة التفاعـلات بين ظاهـرات الحياة والمـادّة الارضيـة قد ادت الى ولادة علم البيـولوجيـا الارضية الكيميـائية (بيـو ـ جيو ـ كيميـاء) ، وهو علم مرتبط بالكيميـاء الاحيائيـة وبشكل جسـراً بين الكيمياء الارضيـة والبيـولـوجيا ، خـاصة بـالنسبة الى البحوث حول المسـألة الكبـرى مسـألـة اصل الحيـاة (ج . د . برنـال ، 1947 ؛ آ . اوپارين وڤ . فسنكـوڤ ، 1957-1958) . ان اتصـال الكيميـاء الارضيـة ، علم التعـدين وعلم البيئـة الارضي الكيميائي ، بعلم التربة Pédologie ، جدير ايضاً بالذكر .

النيـازك (الميتيوريت) ـ التكتيت والكيمياء الكونيـة ـ ان التحليل الـطيفي للضوء الـذي تبثه النجوم قدم لنا افكاراً واضحـة حول التكـوين الكيميائي للكـون فيما وراء كـوكبنا . ولكن الـرسـالـة الوحيدة المحسوسة مباشرة عن الاشياء السماوية تأتينـا عن طريق سقـوط النيازك والشهب (ونعـرف اليوم اكثر من الف منها) التي تتيح ارصاداً مهمة مقارنة من ناحية علم الاحجار والكيمياء الارضية .

ان المبـادىء التي اقترحهـا دوبري Daubrée من اجـل تصنيف النيـازك (راجـع مجلد III ، الفقرة V ، الفصل I من القسم الـرابع) ، قـد أخـذت واعتمـدت في خطوطهـا الكبرى . وقـامت اعمال عديدة فتناولت تكوين النيازك ، كما تناولت التكتيت والغبار الكوني ، وطبيعة ونسب النظائـر التي تحتويها ، كما بحثت في النشاط الاشعاعي ، المرتبط في قسـم منه باثـر الاشعة الكـونية ذات

الطاقة الكبرى . وقدمت هذه الدراسات نتائج مهمة حول تأهيل ، وعمر واسلوب تشكل كوننا الكوكبي .

ان المجموعات الكبرى المعدنية العلمية ، في مختلف البلدان ، كما في فرنسا ، مجموعة المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي ، تحتوي على سلاسل مهمة من النيازك . وعلى الصعيد الدولي قامت لجنة دائمة سميت لجنة النيازك في سنة 1948 . والكاتالوغ الذي وضعه ج . ب . بريور Prior وماكس هـ . هاي Hey (طبعة جديدة ، 1953) يعطي اماكن سقوط النيازك المعروفة حتى سنة 1953 . وبعدها قامت اللجنة الدولية الدائمة بمتابعة عملية الجرد والاحصاء .

ان اهمية المعطيات المجموعة حول النيازك ، وضخامة البحوث الجديدة التي نفذت بشأنها جعلت بالامكان قيام علم أحجار كوني ما يزال ينمو . ان هذا العلم ، الذي تزايدت اهميته ، منذ التجارب الفضائية الاولى ، هو أساس الكيمياء الكونية . وهو امتداد لطرق ومكتسبات حققتها الكيمياء الارضية في مجمل الكون .

VI ـ الطرق التجريبية في مجال علم التعدين

ان التجريب الكيميائي ، عن طريق التوليف ، قد قدم عناصر مهمة اتخذت كمرجع حول ولادة وحول تحولات الركازات في الطبيعة . ان الطرق المفتوحة والمناهج المتبعة في القرن التاسع عشر قد تطورت ، مغتنية بتقنيات جديدة وبمعدات تقدّم إمكانات أكبر وتوضيحات أكثر حول الظروف التجريبية الموضوعة قيد التنفيذ (التركيبات المائية الحرارية ، التزجيج frittage ، الذوبان بدرجات حرارة عالية) .

اعطى ر . ويل ور . هوكارت Hocart (1951-1953) لتجارب هـ . دي سينارمونت (1951) Sénarmont اتجاها جديداً ، ثم تابعا بنجاح بحوثاً حول تشكل الركازات من الفضة وحول مختلف انواع السولفور الزرنيخات . وقامت انماط اخرى للانتاج التجريبي فقدمت دلائل مهمة حول أصل بعض البنيات المتناهية الصغر الملحوظة داخل الركازات المعدنية ، أو حول ظروف تشكل ركازاتها المكونة لها . واهتمت بحوث اخرى بظاهرات الاستبدال في الركازات السولفورية ، وامكن استحداث بنيات صغيرة جداً مماثلة للبنيات الميكروسكوبية الملحوظة في الطبيعة .

وفي مجال نشأة الصخور ، بدت البحوث التجريبية التي قام بها ج . موروسويز (1898) وج . هـ . ل . فوغت (1924) ون . ل . بوين ، وو . ايتل وب . غريغوريف وو . ف . توتل حول نتائج الركازات في الماغمات بواسطة الطريقة الجافة ، حاسمة .

ان دور الماء كمركز ، في الحالة ما فوق الحاسمة ، بحضور الاملاح القلوية ، والذي اثبته ش . وج . فريدل (1890-1891) قد ثبت وتوضح بفضل تجارب ج . و . موري وايرل انجرسون (1937) وش . ج . ڤان نيوونبورغ (1932-1935) الذين بينوا الحركية الكبرى في السيليس وامكاناته التفاعلية في الظروف المائية الحارة تحت الضغط . وتركيب ركازات من الصلصال قد تحقق بنفس الشروط على يد و . نول (1935-1936) ومن قبل ر . روي (1950-1961) .

استعمل آ . ميشال ـ ليڤي وج . ويارت Wyart (1938-1948) درجات الحرارة المرتفعة والضغوطات العالية الحاصلة في انفجار المتفجرات ، فاستحدثا ركازات متنوعة ظهرت في التغييرات التحولية (Métamorphiques) . وتحت ظروف تجريبية اخرى ، استحدثت مدام كريستوف ميشال ليڤي (1953-1957) سلسلة من السيليكات التحولية وأعادت تكوين تجمعات معدنية طبيعية . وأجرى ج . ويارت وهـ . ج . ف . ونكلر بحوثاً مثمرة حول التحولات التحولية في بعض الصخور الصلصالية ، في حين حقق س . كاييروس . هنين ، وج . اسكيڤن تركيبات لركازات من الفيلّيت (1948-1951) . أما مسألة الصلصال الآلومينية الخالصة فلم يمكن حلها حتى الآن .

ان هذه النتائج ، في مجملها ، الحاصلة عن طريق التجريب تثبت الفرضيات التي قدمها في الماضي علماء التعدين وعلماء وصف الصخور بعد مشاهداتهم على الأرض .

استنتاج ـ ان النمو العجيب للعلوم التعدينية ، وخاصة منذ مطلع القرن العشرين ، يدل على الدور الاساسي الذي تلعبه هذه العلوم ضمن علوم الارض . . ان عالم الركازات ، بفعل بحوثه حول الابنية البلورية ، يحتل مركزاً مميزاً ، يسمح له الامساك ـ بشكل افضل من غيره ربما ـ بوحدة هذا المجال الواسع من المعارف وبالعلاقات المتبادلة القائمة فيما بينها . ان الابنية البلورية تشكل بهذا الشأن احد مجالات التلاقي ، أو « عقدة » لمختلف مظاهر تبادلات الطاقة التي درستها الكيمياء الفيزيائية والحرارة المتحركة (ترمو ديناميك) خاصة اذا نظرنا الى البلور لا بذاته ، بل تبعاً للخصائص الفيزيائية الكيميائية ، الموجودة في الوسط حيث يتكون البلور وحيث يتطور .

الفصل الثالث

الجيولوجيا

لقد انتهى القرن التاسع عشر في شبه فورة عامة . لقد اقتنع عالم العلم انه حلّ المسائل الاساسية . ان البعثات العلمية البعيدة قدمت توثيقاً ضخماً ؛ فقد تم نشر خارطة جيولوجية للأرض . واستطاع ادوار سويس Suess ان يكتب « وجه الارض » وهو كتاب ضخم عالج جميع المسائل الجيولوجية .

في الواقع لم يكن العالم يعرف الا قسماً من اوروبا ومن اميركا الشمالية ، وبعض اللمسات عن القارات الاخرى . وكان علم وصف الصخور يتلمس طريقة بمشقة . وبقيت الاحاثة (علم المتحجرات) Paléontologie وصفية تماماً . كما بقيت الفرضيات والنظريات أساساً غير أكيد لكلّ البنيوية الاديمية (Tectonique) .

وسائل الاستقصاء الجديدة ـ كان علماء الجيولوجيا في القرن التاسع عشر رصاداً ممتازين ، ولكنهم قلّما عرفوا غير مطرقتهم كوسيلة استقصاء . ان التحليل الكيميائي ، والفحوصات الميكروسكوبية وتحديد المتحجرات ، وتفحص مسار القشرات الجيولوجية ، كانت تكمل توثيقهم ، وهذه شكلت علمهم الاساسي كما أتاحت وضع سلم طبقاتي [تسلسل طبقات الكرة الارضية] .

في القرن الشعرين ، تكاثرت وسائل التقصي . واضطرت الجيولوجيا إلى توسيع إعلامها والى استعمال طرق العلوم الأخرى ، بل وحتى طرق الصناعة . وفي هذا حدث جديد ، تميز به القرن العشرين . ان الاحتياجات التقنية ، والدور المهم الذي لعبته الجيولوجيا في الحياة العصرية قد أثارت بحوثاً دقيقة ، تتجاوز دراسة التلامس الصخري .

ان البحث عن الماء ، وعن الركازات ، وعن الفحم ، وخاصة البحث عن البترول ، قد اقتضى دراسة باطن الارض العميق الذي لا تطاله الملاحظة .

الحفر العميق ـ ان ممارسة الحفر العميق ، المعروف منذ أكثر من الفي سنة ، في الصين قد انتشر في الغرب في القرن العشرين . والرقم القياسي الحالي يعود إلى اميركا حيث امكن

التوصل الى عمق 7728 متراً في سنة 1958 في بيكوس كونتي ، في غرب تكساس ، (نيو مكسيكو) .

ان الآلات الحديثة تتضمن « انبوباً جزرياً » يتيح الصعود على عامود من المواد والمعدات . ودراسة الصخور والمحتجرَات (المتحجرات الميكروسكوبية خاصة) التي تم الحصول عليها اثناء الحفر قد خدمت علم قشرات الارض (ستراتيغرافيا) وعلم البنيوية الاديمية : وهكذا توصل الرصد الى اعماق لا يطالها الانسان .

لقد امتد الحفر فطال اعماق البحار . واستعمل الاميركيون والسوفيات والاسكنديناڤيون الانابيب الجزرية التي تستطيع استخراج ما يقارب من عشرين متراً من الرسوبات المتحركة ، مما قدم للمختبر عينات من تشكيلات من العصرين الرابع والثالث ، بدلاً من الوحول البحرية الحديثة التي تجمعها الحفارات .

وحمل تحسين التقنيات مجموعة من العلماء الاميركيين ، بقيادة و . باسكوم Bascom على وضع مشروع ضخم مشهور ، هو « الموهول » . وكان القصد اجتياز القشرة الارضية وملامسة « المعطف » تحت خط التقطع الذي قال به موهوروڤيتش . ان هذا الخط موجود على بعد حوالي اربعين كيلومتراً تحت القارات ، انما على عمق سبعة أو ثمانية كيلومترات فقط تحت اعماق المحيطات .

وتكمن الصعوبة في تحقيق حفرة عميقة في قاع المحيط . وجرت المحاولات الاولى سنة 1961 . وتم بناء سفينة خاصة وجرت محاولات حفر في المحيط الباسيفيكي على بعد 220 كلم من الشاطىء الغربي من المكسيك . وامكن انزال 3900 متراً من الاعمدة السابرة وحفر 150 متراً داخل صخور الاعماق ، حتى تم الوصول الى طبقة من البازالت . وتمت المحاولة عدة مرات . وكان لا بد من حل مشكلة رئيسية ؛ كيف يمكن تغيير التويج الماسي عندما يبرى دون اخراج الجذع من ثقب الحفر ؟

وكان الاتحاد السوفياتي ، من جهته ، يقوم بمشروع سلسلة من الحفر في عدة أماكن أرضية حتى بلغ عمقاً يتراوح من 10 إلى 15 كيلومتراً .

الرصد الجوي ـ وكما تغطي الاشجار الغابة . كذلك الرصودات التفصيلية ، على الارض ، تخفي الاحداث المهمة : ولهذا تكتشف على الخارطة احياناً وقائع لم تعاين على الارض .

لقد اخذت الجيولوجيا الجوية اهمية كبيرة . ان التصوير الجيولوجي والرصد يسهلان وضع خارطات طوبوغرافية وجيولوجية ، تتيح بشكل خاص تمييز الشقوق غير المرئية في الارض . ثم ان الطائرة أو الهليوكوبتر تتيح التنقل السريع وتتكيف مع استعمال بعض الطرق الاستكشافية الفيزيائية الارضية .

الجيوفيزياء أو علم فيزياء الارض ـ ان طرق الفيزياء التي قلما كانت تستعمل في الماضي

في الجيولوجيا الا بواسطة الميكروسكوب اخذت تلعب اليوم دوراً اساسياً في الفرعين الاساسيين من فروع الجيوفيزياء : علم الهزات « سيسمولوجيا » والاستكشاف . لقد أنشأ المهندس الفرنسي كونراد شلومبرجر (1878-1936) فيما بين سنتي 1912 و 1930 ، اساليب في الاستكشاف غير المباشر ، بفضل طرق فيزيائية تقدم بعض المعطيات التي أولها الجيولوجيون ، فاعطت فكرة عن بنية باطن الارض . فالانكليز والالمان والاميركيون والروس قد دفعوا الى الامام هذه الفيزياء الارضية الاستراتيجية والاديمية التي تستعمل اربع طرق رئيسية [1] :

1 ـ الطريقة الغرافيمترية التي تتيح اكتشاف بعض البنيات العميقة بفضل تسجيل شذوذات الجاذبية الارضية .

2 ـ الطريقة الزلزالية التي تدرس انتشار وانعكاس وانحراف الموجات الانفجارية (ب . غاليتزين Galitzine , 1914، الخ) .

3 ـ الطريقة الكهربائية ، المرتكزة على اختلاف قابلية التوصيل الكهربائي في مختلف القشرات التي يمكن الوصول إليها من القشرة الارضية (ش . شلومبرجر ، 1912) .

4 ـ الطريقة المغناطيسية التي تتيح وضع خرائط بالاستثناءات أو الخروقات المغناطيسية التي يتسبب بها عموماً وجود كتل مهمة من ركاز الحديد (ل . اوتفوس L. Eötvös ,1896 ؛ ش . هيلاند Heiland ,1926 ؛ الخ) .

وأخيراً تتيح الجيولوجيا الاشعاعية Radiogéologie اكتشاف الركازات المشعة التي لا تراها العين المجردة .

ان هذه الطرق المختلفة ، التي يستخدم بعضها بالطائرة ، قد قدمت العديد من العناصر الجديدة سواء من أجل الاستكشاف ام من أجل الجيولوجيا ، احداث كشفتها الاسبار العميقة .

وقدم علم الهزات أو الزلازل معلومات أخرى حول بنية الكرة الارضية التي ظهرت ، في نظره ، كتجمع لأوساط مختلفة ، بشكل كرات متراكبة بعضها في بعض ومنفصلة عن بعضها البعض بفواصل وتشققات :

1 ـ تقسم القشرة الارضية إلى منطقتين : قشرة عليا ، صوانية ـ الومينية تسمى السيال Sial ، سيال سويس ، وهي سميكة بما يقارب الثلاثين كيلومتراً وكثافتها تساوي 2,6 ؛ ثم فاصل ؛ ثم قشرة دنيا صوانية مغنيزية ، هي السيما Sima ، مكونة من صخور اثقل ، من النمط البازالتي . وفي أساس هذه القشرة يوجد فاصل موهورفيتش (حوالي أربعين كيلومتراً تحت القارات) .

2 ـ ثمّ « معطف » من الصخور « فوق القاعدة » ، من نمط الدونيت dunites ، محدود في اسفله بفاصل ريبتي (حوالي 980 كلم في العمق) .

---

(1) تراجع ايضاً حول هذه المسألة دراسة ب . تاردي (الفصل الاول من هذا القسم) .

3 ـ كرة وسيطة محدودة الاسفل بفاصل غوتنبرغ (حوالي 2900 كلم) ؛ .
4 ـ النواة المركزية التي بلغ ثقلها النوعي في وسط الارض 17 ، تحت ضغط يبلغ حوالي 3,5 ملايين جوّية .

ان هذه اللائحة ليست نهائية ، ولكن هناك نقطتين تستحقان الذكر . في باديء الامر بيّن علم الزلازل انه زيادة على الهزات الأرضية ذات المراكز الكائنة داخل القشرة الارضية ، بقرب الشواطيء والاغوار المحيطية ، يوجد تحت القارات بؤر يبلغ عمقها حدود 700 كلم . ويمتد مجال البنيوية الاديمية ، إلى أبعد من القشرة الارضية ، حتى يبلغ « المعطف » . فضلاً عن ذلك ان فكرة « النار المركزية » قد زالت ، فالحالة الفيزيائية للمادة في مركز الارض مجهولة من الناحية العملية .

ان الطرق الفيزيائية قد قدمت الكثير من العناصر لدراسة المحيطات .
والاسبار بما « فوق الصوت » اتاحت الحصول على جوانب صحيحة واتاحت اكتشاف تضريس تحت بحري مجهول تماماً ، مع سلاسل غارقة واغوار من عشرة الاف متر . وامكن وضع خارطات جميلة جداً للهضبة القارية ، كما امكن تبيين ان اشكالها هي أشكال منظر قاري خاضع للحت الفضائي ، عند حصول التراجعات البحرية . وأخيراً ان تقدم الفوتوغرافيا تحت البحرية اتاح اخذ صور للاعماق البعيدة .

الكيمياء الارضية ـ ان التحليل الكيميائي الجزئي للركازات وللصخور قد استخدم كاساس لتصنيف هذه الركازات ، كما استخدم لدراسة التركيب الكيميائي الشامل للقشرة الارضية ، وهو موضوع كان يشغل الجيولوجيا من زمن بعيد (1) .

منذ 1847 ، قدم ايلي دي بومونت de Beaumont في مذكرة « حول المقذوفات البركانية والمعدنية » معلومات حول « توزيع الاجسام البسيطة في الطبيعة » ، وذكر كتاب مؤلف سابق عنوانه « بحوث في الجيولوجيا النظرية » لـ هـ . ت . دي لابش de la Beche . وفي سنة 1883 قدم آ . دي لاپاران de Lapparent معلومات عن اهمية السيليكات في تركيب القشرة الارضية .

في سنة 1889 ، عالج العلماء الاميركيون دراسة هذه المسألة بشكل منهجي . وطيلة سنوات ، تحرى ف . و . كلارك ومعاونوه ، ومنهم هـ . س . واشنطن عن كل تحليلات الصخور ونشروا « احصاءات حول الكيمياء الارضية » ثم ، في سنة 1924 ، كتاب « معدل تركيب القشرة الارضية » . وادخلت بعض التعديلات على المعطيات التي قدمها كلارك . وفي المانيا ، نشر فوغت Vogt مكونات عناصر اكثر ندرة : كالنحاس والرصاص والزنك والكوبالت الخ ، وعالج لوناي de Launay ، بعد ان استخدم معطيات كلارك وفوغت الاولى ، المسألة في كتابه « رسالة في علم التعدين » (1913) .

وفيما بعد ، يجب ذكر اعمال ڤرنادسكي ، ثم الكتاب الشهير « رسالة في الكيمياء

---

(1) راجع ايضاً حول هذا الموضوع الفقرة V من الفصل السابق .

الارضيــة » ، الذي نشـر سنة 1937 على يـد آ . ي . فرسمـان بالـروسية . واستخـدم هـ . شنيدر هوهن في المانيـا (سنة 1934) ثم پ . رامدهور (1942) معـطيات فـرسمان بعـد تعديلهـا قليلاً . ونشـر ف . م . غولـدشميت اعمالاً مهمـة مـرتكـزة على التحليـل « الـطيفي التسجيلي » . وكـان « جلوله » الموضوع سنة 1937 ما يزال يحتفظ بقسـم من معطيات كلارك وواشنطن ، بعد استكمالها بالعناصر النادرة . ويمكن فيها بعد ذكـر اعمال سنـدل وغولـديش (1943) ، واعمال مـازون (1952) Mason ثم اعمال الفنلنديين ك . رانكاما وث . ج . ساهاما (1950 - 1954) .

ان الكيمياء الارضية قد اصبحت بعدها فرعاً من علوم الارض . فهي تدرس تـاريخ العنـاصر في القشرة الارضية وفي الكـون باكمله . ووضعت قـوانين توزيع هذه العنـاصر النـوعي والكمي ، وهجراتها .

ومن فروعها علم المـآوي المعدنيـة أو « المتالـوجني » (métallogénie) (ل . دي لونـاي ، 1908) ، وهو علم « يبحث في القوانين التي سادت توزع وتجمع أو انفصال العناصر الكيميائية في الاقسام القريبة من القشرة الارضية » .

ان غالبية اللوائح الحالية تعطي قيماً قريبة حول النسب المئوية لمختلف الاجسـام البسيطة ، في تكـوين القشـرة الارضيـة : الاوكسجين 46,66% ؛ السيليسيـوم 27,72% ؛ الـرومينيـوم 8,13% الحديد 5% ، الخ ، حتى الوصول الى مقادير لامتناهية الصغر بالنسبة الى بعض العناصر . وبعض الباحثين، امثال و . لندغرن (1933) وپ . نيغلي (1948) حسبوا بـالوزن (بـالملغرام في الـطن) . واقترح ف . بلوندل استخـدام اللوغاريتم العشـري لهذه الكميـة والذي يمثـل الغزارة النسبيـة في العنصر المدروس .

ولا يمكن تـرك الفصل المتعلق بـالكيميـاء الارضيـة دون الاشـارة الى دور التخليق الضـوئي Photosynthèse . وانه بفضل ظاهرة التمثل الكلوروفيلي ـ التي اتاحت للنباتات الخضراء استخدام الغاز كربونيك والاحتفاظ بالكاربون ، مـع اخراج الاوكسجين ـ تكـون فضاؤنـا الذي لم يكن ، في الاصل يحتوي على الاوكسجين .

اما الكربون ، فان النباتات تستخدمه من اجـل تركيب الغلوسيـدات ، وهي في أصل المـادة العضـوية . وسنـداً الى رابينوفيتش (1945) يسـاعد التصـوير التـوكيبي في انتاج 30 ملياراً من اطنان المـادة العضويـة في السنة ، وهـو حـدث لـه اهميـة حقيقيـة على الصعيـد الجيـولـوجي . وتحفظ احتياطيات ضخمة من الكربون (الطاقة الشمسية المتحجرة) في الطبقات الجيولوجية بكشـل فحم وبترول .

والى جانب التصويـر التركيبي ، تجب الاشـارة الى تفاعـلات اخرى : التصـوير الاختـزالي لبعض البكتيريا والخزار والتركيب الكيميائي للبكتيريا ذاتية التغذية بدون كلورفيل .

وهكذا تبرز أهمية دور الكيمياء الارضية ، وهو علم تعطيه كتب الجيـولوجيـا الحديثة مكانـة مهمة . ويستخدم الاستكشاف المنجمي موارد الكيمياء الارضية ، وكذلك مـوارد البيو ـ جيـوكيمياء

بتعيير بعض الاملاح المعدنية ، الموجودة اما في الصخور ، واما في الانسجة النباتية العائشة بقرب الملاجيء المعدنيـة غير المـرئية . ان اهم مـراكز نشـاط البحث في هذا المجـال تقع في الاتحـاد السوفياتي ، وفي الولايات المتحدة ، وفي كندا وبلجيكا واسكنديتافيا .

تصنيف الصخور ـ ان تصنيف الصخور هو أحد المجالات الاكثر غموضاً في الجيولوجيـا . وتوجد تصنيفات متنوعة موضوعة وفقاً لمعايير مختلفة ، يطبق بعضها بصعوبة على مجمل مجموعـة الصخور المدروسة ؛ ويدخل فيها الـرصد ، والـوصف ، والتحليل الكيميـائي والميكروسكـوبي . وهناك اليوم مسعى لوضع تصنيف اقل اصطناعية ، مرتبط بولادة الصخور ، وبأسلوب استقرارها .

الصخـور البركـانية ـ من أوائـل التصنيفات ، تصنيف فـوكي Fouqué وميشـال ليڤي (1879) المرتكز على التـركيب التعديني وعلى النسيـج والذي يبقى عمليـاً وشائـع الاستعمال . وبعـدها تم اقتـراح تصنيف اميركي ، كيميـائي خالص (C. I. P. W. 1902) ثم تصنيف آخـر كيميائي ـ تعـديني (تـروجر Troger 1930) . ان تصنيف آ . لاكـروا (1933) المرتكـز على الخصائص الكيميـائيـة ، وعلى التركيب التعديني وعلى النسيج ، هو الاكمل ، ولكن استعماله اصبح صعباً وتجريـدياً ، من جراء ان التحليل الكيميائي يؤدي، ليس فقط إلى تعريف الـركازات المـرصودة ، بـل إلى تركيبـات محتملة محسوبة . وتـرتكز طـريقة القـواعد الجزيئية التي وضعهـا پ . نيغلي (1933 - 1936) على كون العديد من الاتحادات المعدنية (أو القواعد) تعطي نفس التوكيب الكيميائي ، في حين تظهـر كل صهرة اتحاداً خاصاً (أسلوبها) بالركازات .

ونجد مفهوم الوجه الركازي الذي قال به اسكولا (1921) ، المحدد بدرجـة حرارة ، وبضغط منطقته الاولى ، كما نجد مفهـوم الوجـه الصخري الـذي قال بـه شانـد (1950) . وذكر هـ . وج . ترميه (1956) كم بقي تصنيف الصخور وصفياً دون اي « امتداد فيما خص التعـاطف الحقيقي وفيما خص ولادة الصخـور » . وقد ركـزا على ان علم وصف الصخـور يجب ان يستنـد على ظـاهـرات طبيعيـة مثل ولادة الصخـور ، وعلاقـاتها بتـطور الكرة الصخـرية ، ممـا لا يستبعـد ابـداً الصفـات الكيميائية ـ الركازية .

ودونمـا عودة الى النـظريات المعلقـة بتشكل الصخـور البركـانية التي سبق ذكـرها نـذكـر ان الدراسات الحديثة حول الترمـوديناميك العميق في القشرة الارضيـة قدمت اراء جـديدة حـول هذا الموضـوع (ل . غلانجو ، 1956 - 1960) ، وهي فرضيات بدت مدعومة بالتجارب حول التركيب النسيجي الغـرانيتي (ج . وبـارت وج . سـابـاتيـه، 1956 - 1959 ؛ هـ . ج . ت . ونكلر ، 1957-1958) .

الصخور التحوليـة (ميتامـورفية) ـ اعتـرضـت تصنيف الصخور التحـولية ، ولمـدة طويلة ، صعوبات خـطيرة . ان هـذه الصخور ، التي تحتـل مكانـة مهمة على الارض ، قـد اصابهـا التبلر وأصابها توجه العناصر واصابتها غالباً مبادلات في المادة وتغيير في تركيبها الكيميائي الاصلي .

ونميز بين تحولية تلامس يحدثها اتصال صخرة بركانية بالصخـرة المغلفة ، فيحـدث « تحول

ناشط » (دينامو ـ ميتامورفيم) يثيره ضغط الظاهرات الاديمية ، وتحول اقليمي يستفيد من الحرارة ومن الضغط العمقي .

وميَّز ج . جونغ وم . روك عدداً من المناطق ، المتزايدة الحرارة ، وفسّرا تشكل الميكاشيست العليا والميكاشيست السفلى ، والنياسات (gneiss) العليا والنياسات السفلى . وهنا حصل الانضمام الى دراسات الترموديناميك العميق التي سبق ذكرها .

الصخور الرسوبية ـ ان علم وجنس الصخور الرسوبية مدين كثيراً للاعمال التي قام بها ل . كايُو Cayeux ، الذي نشر بين 1897 و 1942 ، مذكرات مهمة حول الصخور الفحمية وحول الصخور الصوانية وحول ركازات الحديد والفوسفات .

وطورت طرق جديدة لدراسة علم الترسب مستخدمة المورفوسكوبيا [مراقبة التشكل] والغرانولومتريا [قياس الحبيبات] وفحص الركازات الثقيلة وركازات الصلصال . وقد ساهم العديد من علماء الجيولوجيا والتعدين من مختلف البلدان في هذه الدراسات التي جمعت خلاصتها في رسالة وضعها كرومبين Krumbein وسلوس Sloss (الستراتيغرافيا والترسب ، نيويورك 1951) .

وفي التصنيفات الرئيسية للصخور الرسوبية ، يمكن ذكر بعض الالتباس حول معنى ومدى معايير التجميع الوصفية والوراثية ، يضاف إليها التحليل الكيميائي (آ . لومبارد 1949 - 1956) .

وتوجد تصنيفات نوعية تتبع معايير وصفية ، تكبيرية وتصغيرية (ماكرو ـ وميكروسكوبية) وكمية سنداً لمعايير كيميائية ، ثم القياس الحبيبي (Granulométrie) . ولكن التفصيل لا قيمة له الا اذا وضع ضمن المجمل ، ضمن وسطه الوارثي ، اي ضمن مستودع جيولوجي طبيعي . اما المعايير الوصفية الولادية ، فيجب ان يمكن تطبيقها على صخور من كل الاوجه ، من كل الاوساط ومن كل الاعمار . تضاف إليها معايير إضافية : التركيب الكيميائي ، البنية الميكروسكوبية ، النسيج والمعطيات الستراتيغرافية والتكونية والكرونولوجية (التاريخية) .

وينزع المؤلف نحو تصنيف تغلب عليه الوراثية ، محكومٍ برصد الظاهرات القائمة التي تتيح عادة تكوين المساحات الكبرى المتنوعة من الترسبات القديمة . ان تواصل علم الترسب الحالي بعلم المحيطات ، وعلم وصف الصخور الرسوبية قد اصبح الآن ثابتاً .

ومن عهد قريب (1956) ركز هـ . ارهارت Erhart على دور تكون التربة المرتبط باتساع لغابات ، ففسر كل الترسب القاري والبحري . ان هذه النظرية الجديدة المرتكزة على دور « التوازنات » وعلى « اختلال التوازنات » البيولوجية ، بخلال الازمنة الجيولوجية ، تستحق محلاً ضمن هذه المحاولات من اجل وضع تصنيف جيولوجي .

علم الاحاثة وعلم طبقات الارض (ستراتيغرافيا) ـ ان علم الاحاثة (أو علم المتحجرات) والستراتيغرافيا قد حققا مستوى عالياً من التطور في مطلع القرن العشرين . وفي حين عرفت احاثة

الفقريات نهضة خاصة(1) تأكدت اهمية اللافقريات . فكانت دراسة متحجراتها في اساس علم طبقات الارض (الستراتيغرافيا) .

واعيد النظر في كل المجموعات الكبرى ، في كل بلدان العالم ، وظهرت دراسات متخصصة ، تكمل الى حد بعيد ما كان معروفاً . انه في القرن العشرين فقط بدأت حقاً دراسة المتحجرات الميكرومكروية : المنخربات الميكروسكوبية ، السوطيات ، والمخروطيات ، والغبيرات واللقاحات . فعدا عن اهميتها الخالصة ، بدت هذه المتحجرات الميكرومكروبية ضرورية لوضع ولانشاء الستراتيغرافيا ، في حال غياب المتحجرات الكبيرة ، خاصة في عينات من التراب .

وكانت الانجازات في حقل المتحجرات ضخمة . ومن بين الانجازات ، تذكر اعمال آ . سيوارد Seward (1933) ، واعمال هـ . پوتونييه Potonié وو . غوثان Gothan (1921) ، وو . ش . داراه Darrah (1939) ، ول . امبرجر Emberger (1944) ، كما تذكر « رسالة الاحاثة النباتية » التي نشرت باشراف أ . بورّو Bourreau .

ان الستراتيغرافيا بعد ان ارتكزت على معرفة جيدة بالمتحجرات الحيوانية والنباتية ، اخذت تتكامل باستمرار ، مغتنية بمعطيات علم الترسبات وبعلم المتحجرات البيئية Paléoécologie وبعلم الحرارة الإحاثية Paléo-température الخ .

علم التأريخ الارضي والنشاط الاشعاعي - بعد النظريات الاولى التي صاغها الجيولوجيون في القرن التاسع عشر ، ادى اكتشاف النشاط الاشعاعي (1896) الى ان يجعل من علم تاريخ الارض علماً بحق . من المعروف ان الاجسام الناشطة الاشعاع عندما تتفكك تولد عناصر جديدة ، والنسبة المئوية من الذرات التي تتحول بخلال الوحدة الزمنية ثابتة لا تتغير . وفكرة مدة الحياة باشر بها پ . كوري سنة 1902 ثم وضحها روذرفورد الذي اقترح كمعيار مدة حياة الراديوم : 1590 سنة (وهي المدة اللازمة لكي يتفكك نصف الذرات) .

ويوجد بشكل خاص عناصر مشعة ناشطة يؤدي تفككها ، مع انتاج الهليوم (اشعة الفا α) الى وجود نظائر من الرصاص الطبيعي البدائي (^{204}Pb) ، وذلك ضمن نسب محدودة في زمن محدد . ان نسبة مختلف النظائر الموجودة ضمن عينة معينة من الرصاص يمكن أن تمكن ^{208}Pb من تحديد عمر هذه العينة ؛ وبث الهليوم يمكن ايضاً ان يقاس ، وكذلك الاورانيوم الباقي .

من ذلك ان ركاز رصاص افريقيا الجنوبية يحتوي 12,65% من الرصاص (^{206}Pb) ؛ 14,27% من ^{207}Pb ، 23,78% من ^{208}Pb ، وقد حدد عمره بثلاثة مليارات سنة (مع وجود خطأ محتمل مقداره 10%) .

(1) راجع حول هذا الموضوع دراسة ج . پيفوتو (الفقرتان II و III ، الفصل V من القسم الرابع) . ان انجازات الاحاثة عند اللافقريات قد رسمها آ . تيتري (الفقرة III ، الفصل III من القسم الرابع) ؛ وانجازات المتحجرات النباتية وصفها ج . ف . ليروا (الفقرة I ، الفصل VIII من القسم الرابع) .

ان هذه الطريقة قد طبقها آ . هولمس (1937) وف . ي . ويكمان (1939) الخ . ثم هناك طرق السترونتيوم روبيديوم Strontium - rubidium (آهرنس 1948) ، والهليوم ، الخ . ، التي لم تتح تحديد عمر الصخرة بل عمر الركاز . ففي حالة الخيط القشروي الارضي ، تكون الصخرة الحاضنة اقدم بالضرورة .

ان هذا الاسلوب الجديد في الحساب يؤدي الى العودة بتحجر الكرة الارضية الى حدود خمسة مليارات سنة . ان بداية الحقبة الكمبرية المحددة في اساس الازمنة الاولى يمكن ان تحدد عند 600 مليون سنة ، والازمنة « السابقة على الكمبرية » ترتدي بالتالي اهمية ضخمة ففيها تكتشف اثار سلاسل الجبال القوية جداً ، كدليل أو مؤشر على دورات الثورة الجبلية المتعددة ، التي ما تزال صعبة التتبع والعزل .

وتطبق نفس الطريقة بنجاح على الاعصر الاحدث : الاولي والثانوي والثالثي ، وهي تؤمن حياة جديدة لمعطيات الستراتيغرافيا والبنيوية الاديمية والتكتونيك . ان الآلاف الخمسة عشر أو العشرين الاخيرة تستفيد من طريقة الكربون المشع التي طبقها و . ف . ليبي ابتداء من سنة 1949 .

ان الاشعة الكونية تنقل الازوت الفضائي وتحوله الى كربون -14 الذي اذا اندمج بالاوكسجين يعطي قسماً ضئيلاً من الغاز كربونيك من الهواء الذي تمتصه الاجسام . واثناء دفنه يتفكك الكربون ^{14}C ويعطي آزوت (نيتروجين) وأشعة بيتا (β) ، في فترة تبلغ 5760 سنة . ان قياس معيار ^{14}C لكربون [فحم] عضوي حديث نسبياً (خشب قوقعة ، الخ) ، يتيح بالتالي تحديد تاريخ هذا الكربون .

ان هذه الطريقة تطبق اليوم في علم الاثار وفي جيولوجيا العصر الرابع الحديث .

علم البنيوية الاديمية - هو فرع خاص من الجيولوجيا يدرس هندسة القشرة الارضية ، وتشوهاتها وولادتها . وقد ازدهر هذا العلم ازدهاراً بالغاً في القرن العشرين .

أن الانحناءات والتقببات التي تؤدي الى تكوين سلاسل الجبال تدل على اضطرابات غير عادية وهي اضطرابات ولدت فكرة الكوارث والفواجع المفاجئة .

وبالنظر المتمهل الى امكانية حدوث الظاهرات الحالية ، والى الزمن على الصعيد الجيولوجي ، تبين ان الهزات الارضية تحدث تشققات ، وزياحات عامودية وتماسية وان الكثير من ارجاء الكرة تظهر نشاطاً تقببياً أو غورياً de Subsidence ملحوظاً على الصعيد البشري ؛ وتبدو الحركة البركانية كظاهرة في كل الازمنة .

وفيما خص الجبال (التي يكشف لنا حتها عن بنيتها الداخلية) يتوجب القيام تدريجياً بتحليلها قشرياً وهندسياً . والتحليل الهندسي لا يقتصر فقط على وصف التعاريج ، بل يجب اعادة تكوين حالتها الاولى ، ودراسة حركيتها ، وولادتها وتطورها ، مما يقتضي قسطاً من الخيال ،

المرتكز بقوة على المعطيات التنضّدية (الستراتيغرافية) ، والمرتكز على مبادىء ميكانيك الجوامد القابلة للتغير في شكلها .

ويظن اليوم ان ظهور سلاسل الجبال ليس حدثاً عارضاً في حياة الارض ، بل مظهر دوري ، معروف منذ الحقب الاولى في تاريخ القشرة الارضية . ان تفحص المنطقة العميقة من السلاسل المتتالية يؤدي دائماً إلى نفس المسائل المثارة في علم وصف الصخور وفي الفيزياء الارضية وفي الترموديناميك .

وهكذا نجد أنفسنا امام مظاهر دائمة ، انما بطيئة للغاية (من عيار مليمتر أو احياناً من عيار سنتمتر في السنة) تدل على نوع من النبض الداخلي في الكرة . ان التاريخ الكامل لسلسلة من الجبال يتفاعل ويمتد فوق عشرات الملايين من السنين ويعمل علم التنضدات (الستراتيغرافيا) على إعادة تكوين شروط الترسب ويحدد العمر النسبي للحركات سنداً إلى الاختلاف في الرسوبات أو إلى صفتها الأكثر حتاً .

وكون هذه الرسوبات قد استقرت عادة في منطقة محيطية قليلة العمق يقتضي وجود حفر في حالة الانهيار ومناطق غائرة de Subsidence (پ . بروڤوست Pruvost ، 1930) . ان بعض هذه الحفر اطلق عليها اسم المنخفض العظيم الاغوار «géosynclinaux» ، والفكرة من وضع جيمس هول 1859 والكلمة وضعها ج . د . دانا سنة 1873 ، ولكن هذا المعنى كان موضوع تأويلات مختلفة جداً ومتناقضة في اغلب الاحيان ؛ يرى ج . آوبوين Aubouin (1961) ان الغور هو كمجمل متحرك من التجعدات ومن الاثلام ، تغنيه ماغماتية سيمية (Simique) خاصة .

كيف يمكن تفسير ان ترسبات سماكتها تتراوح بين 10 و 12 كلم ، كالتي دخلت في بناء جبال الالب والحملايا ، قد استطاعت الصعود من هذه الاغوار ؟ لقد اهتم العديد من الجيولوجيين بهذا البحث عن الاسباب وعن القوى . ويبدو ان الترسبات المشدودة نحو الاعماق قد وصلت الى مناطق تحولية عامة ، [تغير في الطبيعة métamorphose أو تغير في تكوينها وفي تسجيلها métasomatismes] ، حيث تتغير بالضغط وبالحرارة ، فتتمرّج وتصعد الى السطح والى ابعد من السطح بحركات عامودية بشكل خاص . اما الصخرة الاساس العميقة ، فبحكم عدم تثنيها ، سواء كانت غرانيتية ام صوانية (منيسة) فقد تتشقق فتصعد قاذفة الغطاء الرسوبي الطري . وهكذا نميز بين بنيوية أديمية عميقة وبنيوية أديمية سطحية .

ويؤدّي التقبب الى حت ناشط ، والى زحول والى تثنيات جديدة . والزحول قد يرتدي الكثير من الاهمية ؛ ان « برك النقل » ، التي ظلّت لمدة طويلة بدون تفسير ، تنتج عن انسياب بفعل الجذب الارضي فوق اساس زاحل ، كما الصلصال الجبسي في التریاس Trias (نظرية شاردت Schardt ، المعتمدة غالباً في أيامنا) .

ان هذه الاحداث المتنوعة (التغور ، الزحل ، التقبب) تتطلب قوة محركة على مستواها . وتلت فرضية التقلص ثلاث نظريات اخرى هي : طفاوة القارات ، تيارات الهواء الساخن والتحولية المولدة للتثني .

طفاوة القارات ـ ان هذه النظرية ، المرتكزة على مفهوم التضاعط ، ثم على فكرة النزوح الافقي للقارات (تايلور ، 1910) قد طورها سنة 1911 العالم الفيزيائي الارضي الالماني آ . ويجينر Wegener . وهي تفترض ان كل القارات كانت مجتمعة في العصر قبل الكامبريان ، وانه بخلال الازمنة تشققت القارة الواحدة وان اجزاءها المكونة من « سيال » Sial (قشرة) خفيف ، انطلقت هائمة فوق « سيما » Sima ، اكثر كثافة ولزجاً . واثناء تنقلها قذفت القارات الرسوبات امامها فاوجدت المضائق الجبلية . اما التغيرات في المناخ فهي قد نتجت عن تنقل القطبين والقارات .

اغرت هذه الفرضية الكثير من علماء الاحياء ، ولكن الجيولوجيين ، والفيزيائيين الارضيين رفضوا اعتمادها كما هي لاسباب عدة . وبصورة خاصة لم يمكن اكتشاف اية ظاهرة مماثلة ، هامّة ، على الصعيد البشري . وأخيراً ، ان ويجينر لم يشر إلى اي سبب ديناميكي ، اما القوة الناقلة وحدها ، المعروفة ، وهي الاندفاع نحو خط الاستواء ، فكانت غير كافية بشكل ظاهر .

تيارات الهواء الساخن ـ ان نظرية تيارات الهواء الساخن التي عرضها الاميركي د . جريجس D. Griggs (1939) ، من أجل تفسير تقبب تجاويف الترسب ، والطبيعة المتقطعة للظاهرات التشققية ، ترتكز على امكانية الحركات الماغماتية العميقة جداً وعلى التيارات الهوائية الساخنة التحتية المعزوة الى فروقات في درجة الحرارة ، بين الكتل القارية وتحت المحيطات . ان السيال المتمثل بتيارات حرارية ، وانتشار كيميائي ، ونشاط اشعاعي ، قادر فعلاً على تغيير الطاقة المتاحة (ج . چوجل Goguel) ، وقد جرّ نحو اثلام من القبب المتشققة بسرعة تعادل بعض السنتيمترات في السنة . ان مثل هذه الحركات البطيئة ، قد تحدث تحت التشقق المسمى تشقق موهوروفيتش وحتى بعد يعادل الفي كيلومتر . ان وجود بؤر زلزالية عميقة (700 كلم) يدلّ على ان هذه المناطق ليست جامدة .

اعتمد هذه الفرضية الجيوفيزيائي الهولندي ڤينن ماينز Vening Meinesz ، لتفسير شذوذات الجاذبية الارضية في ا رخبيل صوند Sonde وفي جزر الانتيل . ان التقلبات المتوقعة تحدد دورات ناشطة مدتها 25 مليون سنة ، تفصلها حقب طويلة من الراحة .

التحولية التي تولد التثنيات ـ ان الرسوبات المسحوبة نحو القاع ، اثلام التقبب ، تتغير وتتحول . في سنة 1934 ، قدم الجيولوجي والمهندس الفرنسي رينه پرين Perrin نظرية جديدة تقول بان التحولية لا تعزى الى التثنيات ، بل انها العامل الاساسي في حدوثها .

مع م . روبولت Roubault ، فسّر ر . پرين تشكل الغرانيت ، والتغرنت بفعل ظاهرات الانتشار في حالة الجمودية ، والتي اوضحت بعض انماطها تجريبياً (راجع دراسة ج . اروسل ، الفقرة VI الفصل السابق) . فهو يفترض بهذا الشأن أن مثل هذه التفاعلات حدثت في قاع الحفر التشققية فأوجدت تمددات ومارست ضغوطات تكفي لاحداث تثنيات .

من المعقول ان أياً من هذه الفرضيات لا يتوافق مع الواقع وان كلاً منها يحتوي على جزء من

الحقيقة . ان محاولة التركيب التي قال بها ب . ديف Dive (1933) تدمج نظرية ويجنر مع نظرية التيارات الزلزالية الداخلية .

ان دراسات التشقق هذه قد تتابعت في بلدان مختلفة ، ولكن المدرسة الفرنسية كانت ناشطة بشكل خاص ، والعديد من ممثليها الحاليين استمروا في تصوير هذا المجال ببراعة . نذكر ايضاً ان تتبع التطور التشققي قد ادى الى قيام ما يسمى بالبنيوية الاديمية الجنينية ؛ وعلى هذا اعاد ل . مورت تكوين تاريخ الالب الفرنسية (1933 و 1961) .

الجغرافية الاحائية والجغرافية الاحيائية ـ ان العمل الدؤوب الذي قام به الجيولوجيون من كل مجال قد اتاح اعادة تكوين الجغرافيات القديمة ، وتطور القارات والمحيطات ، والحيوانات والنباتات . ودراسة الرسوبيات تعطي معلومات على نشأتها ، وعن اعماق المحيطات وعن درجات الحرارة الاحائية . ودراسة المتحجرات ، بعد ان تجاوزت مرحلة الكاتالوغ المنهجية ، اعادت تشكيل الاتحادات الحيوانية والنباتية في علم البيئة الاحائية .

وبصورة تدريجية ، تم تحديد مناطق قارية ومناطق محيطية ، وتحديد التطور ، والهجرات النباتية والحيوانية ، ورسمت خارطات احائية جغرافية ، تمثل حالة الكرة الارضية في حقبة جيولوجية ما .

ان هذه الخارطات غير كاملة حتماً ، اذ ، بفعل الحت ، تبدو المظاهر الحالية ذات اتساع ، احياناً مختلف تماماً عن اتساع البحر الذي قدم هذه المستودعات . ثم ان كل خارطة تهتم بحقبة طويلة جداً اذا نظر الى التحرك الدائم في القشرة الارضية . ان الزمن الرابع ، لوحده ، اي المليون الاخير من السنوات ، بما فيه من تنقلات وتراجعات بحرية ، واتساع جبال الجليد ، والانشقاقات الكبرى ، يتطلب اربع خارطات . فماذا يقال عن 600 مليون سنة ماضية منذ العصر الكمبري ، والذي يمثل في افضل الحالات بحوالي عشرين خارطة ؟

ان هذه الخارطات رغم عدم وضوحها ، كتلك التي نشرتها الجمعية البيوجغرافية في باريس أو اطلس البيوجغرافية الاحائية الذي وضعه ل . جولود L. Joleaud تتيح فهم الاتصالات عبر القارات وفيما بين المحيطات ، وذلك بالكشف على بعض العناصر الدائمة أو المؤقتة التي هي ذات أهمية أولية وأساسية .

وهكذا تتميز بعض التروس القارية : سكاندينافيا ، كندا ، افريقيا ، البرازيل ، وغويانا ، وشبه جزيرة الهند والقارة القطبية الجنوبية ، وهي كلها اجتمعت وبرزت منذ نهاية العصر ما قبل الكمبري . ان كلاً من هذه التروس ، التي اجتيح طرفها الى حدٍ ما اثناء الاكتساحات البحرية ، قد احتفظ دائماً بمنطقة ناتئة .

ان مقارنة النباتات والحيوانات ، في مختلف التروس ، تؤكد ، انه في بعض الحقب ، وجدت اتصالات فيما بينها ، وبعدة اشكال . من ذلك ان برازخ نصبت « جسوراً » دائمة أو مؤقتة ، مثل برزخ (بيرنغ) Béring (وهو مؤقتاً مضيق قليل العمق) الذي اتاح اتصالاً ارضياً سهلاً بين

اميركا الشمالية والقارة الاسيوية الاوروبية بخلال قسم من العصر الثالث والرابع . وهذا الحدث يؤكده تشابه وتماثل الحيوانات . اما برزخ بناما ، فقد ظهر على الاقل مرتين وان زواله بخلال قسم من العصر الثالث يفسر العزلة والتطور الفريد في الحيوانات في اميركا الجنوبية .

ان تماثل الحيوانات والنباتات القديمة يقتضي علاقات اخرى ، و « جسوراً » أخرى . من ذلك ان نباتات غلوسوبتريس (الجناحيات اللسانية) Glossopteris في اوستراليا ، وافريقيا الجنوبية ، واميركا الجنوبية ، والقطب وجزيرة الهند تقتضي وجود اتصالات بين هذه التروس . وكلها موجودة جنوبي البحر المتوسط في العصرين الثاني والثالث المسمى تيتيس (Téthys) . من هنا اتت فكرة قارة ضخمة متميزة بنباتاتها وحيواناتها (من الكاربوني الى البرميان) ، سميت « غوندواني » Gondwanie ، دونما اي اتصال باوروواسيا . الواقع ان اكتشاف بقايا السلاسل الهرسينية شمال ـ جنوب قد اتاح تفسير كل الاحداث المرصودة (ر . فورون وج . مليوت) ثم اتاح اثبات ان الـ « غوندواني » لم يكن لها وجود بهذا الشكل . وقد حاول بعض البيولوجيين ان يفسروا المعطيات الاحاثية بنظرية طفاوة القارات ، ولكن استحالة هذا التأويل قد ثبتت بسهولة .

ان دراسة الحيوانات والنباتات بخلال الأزمنة الجيولوجية جرت الى العصر الرابع ، الى المجال الحالي لعلم الجغرافية الحيوية . ان هذا العلم لا يأخذ كل معناه الا اذا حاولنا فهم اسباب التوزع الحالي عن طريق دراسة الخارطات الجغرافية الاحاثية والاحاثية البيوجغرافية ، وبتفحص البقايا المتحجرة من الحيوانات والنباتات التي عاشت في أمكنتها بخلال الازمنة الجيولوجية .

وعندها نرى الدور المهم للجليديات في العصر الرابع بخلال توزع الحيوانات والنباتات المعتدلة الحالية ، وهي جليديات ادت الى سلسلة من عمليات الهرب والابادة ، ومن الهجرات الجماعية ، معقوبة بعودات غير كاملة . ولفهم هذا التوزع ، يجب تتبع ـ ابتداء من العصر الثالث ـ كل نتائج التطور المناخي ، وهو عمل جذاب يبين كم ان الحاضر مرهون بالماضي ، الذي أعيد تكوينه بصبر وجلد بفضل الدراسات الاحاثية البيئية .

الخارطات الجيولوجية للعالم والمعجمية أو المصطلحات الستراتيغرافية [علم طبقات الارض] ـ ان محاولات القرن التاسع عشر من اجل وضع خارطة جيولوجية للعالم كانت مبكرة وسابقة على وقتها لان ثلاثة ارباع سطح القارات كان ما يزال مجهولاً . وبعد الحصول على طرق جديدة في التقصّي والنقل ، ثم تحت ضغط المصالح الاقتصادية ، أنشأت كل البلدان المتحضرة مرافق جيولوجية في عواصمها وفي اراضيها الواقعة وراء البحار . ان البحث عن الركازات الاستراتيجية وعن البترول ، قد عمل الكثير من أجل الاستكشاف البيولوجي للكرة الارضية . ففي بلدان كالبلاد العربية والعراق وفي ليبيريا ، قامت بعثات استكشافية بدراسة الجيولوجيا .

وبعض البلدان التي كان يظن انها معروفة كفرنسا مثلاً ، رأت جيولوجيتها تتحسن بشكل ضخم بخلال القرن العشرين ، بفضل رصد السطح أو بفضل الأسبار العميقة . وكان الامر كذلك في كل مكان من اوروبا وفوق القارات الاخرى ، التي كانت جيولوجيتها قد شرحت في كتب

اجمالية وعلى خارطات . ومن اجمل النجاحات كان نشر « الخارطة الجيولوجية الدولية لافريقيا » سنة 1952 ، بمقياس واحد على خمسة ملايين ، في تسع ورقات تتبعها خارطة بنيوية (1958) . ان فكرة جيولوجية دولية للعالم بمقياس واحد على خمسة ملايين قد تمت العودة إليها .

لقد تمنت المؤتمرات الجيولوجية الدولية نشر « مصطلح ستراتيغرافي دولي » يشرح كل الكلمات المستعملة في مختلف البلدان منذ الازمنة الاولى للجيولوجيا . ان هذا العمل الضخم ، المحقق بمساعدة كل المرافق الجيولوجية في العالم قد نشر في باريس باشراف وعناية ج . روجر Roger والمجلس الوطني للبحوث العلمية C.N.R.S منذ 1958 .

ان الدراسة الجيولوجية للمناطق المحيطية التي تمثل ما يقارب من ثلاثة أرباع سطح الارض قد بوشر بها بواسطة دراسة الجزر والهضبة القارية ، ولكن دراسة الأعماق الكبرى ظلت عملياً غير متوفرة . واذا كانت هذه الأسبار بواسطة المدفع الراثز قد اعلمتنا عن سماكة وطبيعة الرسوبات الرابعية وربما الثالثية ، فان الجيوفيزياء وحدها تتيح التخمين حول طبيعة اعماق المحيطات : « السيال » تحت الاطلسي الشرقي ، « السيما » تحت الاطلسي الغربي والباسيفيكي .

حياة الارض ـ ان دراسة الظاهرات الحالية قد اتاحت فهم قسم من احداث الماضي الجيولوجي ، وبالمقابل ، ان الدراسات الجيولوجية ، قد اتاحت ، الى حدٍ ما ، تفسير الحياة الحالية للارض ، بفضل إدخال مفهوم الزمن .

ان ظاهرات الترسب والحت ، والبركانية ، والهزات الارضية قد اخذت مكانها منذ زمن بعيد في كتب الجيولوجيا أو الجغرافية الفيزيائية ، ولكن البنية الاديمية بدت بدون اهمية من اجل دراسة الحاضر . ولكن دراسات الجيوفيزياء ، واكتشاف بؤر زلزالية عميقة ، ووضع خارطات بشذوذات الجاذبية الارضية ، ومفهوم التضاغط في القشرات الارضية دلت كلها على وجود بنيوية اديمية حية ، وعلى وجود تشوهات حالية قائمة .

لقد تمّ رصد تنقلات سريعة في الارض بخلال بعض الهزات الارضية الضخمة ، مثل الزلزال الذي اجتاح سان فرنسيسكو في 18 نيسان 1906 . وكذلك ، في سنة 1923 ، فقد لوحظ وجود ارتفاعات مفاجئة فوق شاطىء خليج ساغامي (اليابان) . ونذكر ايضاً زحولات ارض ، سواء فوق القارات ام في المحيطات .

والى جانب هذه الحركات المفاجئة ، عرفت تحركات بطيئة جداً . من ذلك ان الترس السكنديناڤي بعد ان تحرر من نقل « الارض الداخلية inlandsis » الرابعية ، قد ارتفع بمقدار 250 متراً . وهذه الحركة استمرت : سرعتها تساوي 1 سنتم بالسنة ، وقد قيست في اولفو Ulfö في خليج بوتنيا .

من المؤكد اليوم ان ظهور سلاسل الجبال يتم ببطء شديد . في اندونيسيا ، وهي منطقة تثنيات ثالثية وحالية ، ارتفعت الجبال بخلال مليون سنة بما يتراوح بين 400 الى 1300 متر ، مما يعني سرعة معيارها مليمتر واحد في السنة . وتدل الارصاد المتوافقة على ان الاقواس الاندونيسية

هي في حالة تثن وان الاغوار الحالية سوف تظهر بخلال حوالي 20 مليون سنة .

ان دراسة الترسب الحالي تدل أيضاً على الدور الكبير الذي تلعبه الاجسام الحية التي ندين لها بضخامة سماكة الصخور الرسوبية وخاصة الكلسية منها ، وكذلك الصخور ذات الاهمية الصناعية كالفحم والبترول .

وهكذا يبقى كوكبنا حياً ويستمر متطوراً بشكل طبيعي وبطء كما فعل منذ مليارات السنين . ان فكرة الزمن على الصعيد الجيولوجي مهمة للغاية ، لأنها مرتبطة بالمعيار الاشعاعي الناشط وهو الكربون 14 بالنسبة الى الازمنة الحديثة ، والى العناصر الاخرى فيما يعود إلى الخمس مليارات سنة من حياة الارض . وتسمح لنا فكرة الزمن أيضاً في تتبع وفي فهم تسلسل الاحداث .

دور الجيولوجيا في الاقتصاد الحديث ـ تلعب الجيولوجيا دوراً تتزايد أهميته في الاقتصاد الحديث . ان البحث الاساسي قد وجد تطبيقات له آنية مباشرة قدمت بدورها وسائل دراسة في المختبرات .

ان الكشف المنجمي اصبح متعلقاً اكثر فأكثر بمناهج الستراتيغرافيا ، والجيوفيزياء والجيوكيمياء . وكذلك الحال فيما خص البحث عن مصادر الطاقة كالفحم والبترول ، دون ان ننسى بناء السدود ودون ان ننسى الجيولوجيا المائية . ولهذا تم ، في العديد من البلدان ، اتصال وثيق بين الجامعة والصناعة ، في حين تعلم الجيولوجيا التطبيقية بمختلف مظاهرها في كل الجامعات .

معنى الجيولوجيا المعاصرة ـ ان الجيولوجيا التي هي بحكم تعريفها علم طبيعي تمتد لتشمل مجالاً واسعاً جداً ولتصبح علماً تركيبياً . انها كعلم للارض ذي حقل يمتد في الزمن وفي الفضاء اكثر من امتداد علم النبات وعلم الحيوان .

إنّ دراسة الرسوبات ، وهي نوع من علم المحيطات التاريخي تنزع إلى استخدام طرق ومناهج علم السُدُم الحالي ثم نقلها الى الماضي . ان دراسة الظاهرات الحالية ، وهي موضوع الجغرافيا الفيزيائية ، والجيولوجيا الدينامكية ، والجيوفيزياء ، تتيح فهم ولادة وتطور الاشكال التي نراها باعيننا : دور الحتّ ودور الترسب فوق القارات ، والهامش القاري ، وحركات البراكين الخ . وبعد الرصد جاء التفسير الفيزيائي والتفسير البيولوجي .

ان دراسة الصخور البركانية تقتضي استخدام التحليل الكيميائي ، ولكنها لا تستطيع الوصول الى مفاهيم معقولة ، الا اذا درس الصخر تبعاً لموقعه في الطبيعة ؛ ان الدراسة الوصفية للصخور الرسوبية تتجه ايضاً نحو تصنيف وراثي . ان دراسة ولادة الصخور ، وتطورها ، وتحولها وتغيرها يتطلب الاستعانة بالترموديناميك وبالجيوكيمياء اما الجيوفيزياء فتقدم معلومات حول التكوين الداخلي للكرة الارضية .

وعن طريق علم الاحاثة الحيواني والنباتي ، تحاول الجيولوجيا ان تعيد ما كان عليه عالم الاحياء في العصور الجيولوجية . ان هذه البيولوجيا الاحاثية ، او البيولوجيا التاريخية تؤدي الى

البحث عن اصل الحياة فوق سطح كوكبنا ، وهو أصلٌ بعيدٌ جداً سنداً للرسوبات وطبيعتها ، هذه الرسوبات التي يمتد عمرها الى مليارات السنين ، ثم تطور هذا الكوكب .

ان دراسة تشوهات القشرة الارضية ، وهي موضوع علم البنيوية الاديمية تتعلق بآنٍ واحد بالمبادىء وبطرق العلوم الفيزيائية (الترموديناميك ، والميكانيك بالنسبة الى الجوامد القابلة للتغيير ، الخ) ، كما تتعلق بدراسات الجيوفيزياء التي تسجل ظاهرات البنيوية الاديمية الحالية ، الحية . ثم ان النشاط الاشعاعي يتيح احتساب عمر الارض ، في حين ان طرق جغرافية الكون أو الكوسموغرافيا ، وفيزياء الكواكب تدمجها في النظام الشمسي وفي الكون. وعلى الجيولوجيا إذاً ان تستخدم طرق العلوم الاخرى ، ولكن معطياتها الاكثر خصباً تأتي عن الرصد وعن التأويل لا عن الاختبار . وربما لهذا السبب فقط تبقى الجيولوجيا « علماً طبيعياً » .

وحقل تطبيقها يتجاوز مجال « العلوم الارضية » لانه يقدم تفسيرات تتعلق بالبيولوجيا وبعلم الكون . وكما ذكر ل . غلانجو Glangeaud ان طرقها صعبة للغاية ، ولكنها فعالة لانها تطبق بآنٍ واحد « على مواضيع تتراوح أحجامها بين الذرة وبين الكون كما تطبق على احداث يمتد زمنها من يوم واحد إلى مليار سنة » .

الفصل الرابع

علم الفلك

I ـ مدخل

لقد أعرض فلكيو القرن العشرين قليلاً عن النظام الشمسي ، ما عدا الشمس بالذات ، فبينوا وحدة المجرة ، التي كان يظن وجودها ظناً ، ومنذ قرنين على الاقل ، انما بدون براهين قاطعة . ورسموا تصميمها العام وأبعادها ، والحركات الداخلية فيها ، مجددين بالنسبة إلى النظام الكواكبي الذي نعيش فيه ، أعمالاً كان كوبرنيك وتيكوبراهي وكيلر قد انجزوها بالنسبة إلى النظام الشمسي . وأكثر من ذلك أيضاً ، بينوا انه مهما أوغلنا في الاستكشاف بواسطة التلسكوب والراديو تلسكوب ، يظل الكون عامراً بالمجرات الشبيهة بمجرتنا . وهكذا امتدت معرفة الكون ، في مرحلتين ، من حدود النظام الشمسي ، الواقع على بضع ساعات فقط من الضوء ، الى المجرات الواقعة على بعد المليارات من السنين الضوئية . واذا كان علم الفلك الجذري الاساسي قد بلغ في القرن التاسع عشر درجة عالية جداً من الكمال ، فالفضل في ذلك يعود من جهة ، إلى تقدّم طرق الرصد ، والى بناء دوائر هاجرية ، وساعات ذات دقة عظيمة ، ومن جهة أخرى ، إلى تطور نظرية الكواكب التي قنن لابلاس مبادئها منذ بداية القرن . ان النهضة المدهشة في علم الفلك الكواكبي وفي علم الفلك المجري ، وفي علم الفلك خارج المجرة بخلال الستين سنة الماضية ، يعود الفضل فيها إلى توافق ظروف متماثلة : من جهة انشاء نمط جديد من الآلات ، التلسكوب الكبير ، العاكس الفوتوغرافي ، ومن جهة أخرى وبنفس الحقبة تقريباً ، اكتشاف كواكب قزمة وكواكب عملاقة ، وكان هذا «مفتاح السر» في علم الفلك الفيزيائي النظري .

في سنة 1904 قدمت مؤسسة كارنيجي مساعدتها إلى جورج الليري هال Ellery Hale من أجل انشاء مرصد كبير فوق جبل ولسون في كاليفورنيا . وأضيف إلى المعدات الأولى المخصصة لدراسة الشمس في سنة 1908 و 1918 تلسكوبان كبيران عاكسان قطر الفتحة في الأول 1,52 م والثاني 2,54 م ، وكانا أولين من حيث النوعية . ووضعت الكليشهات الفوتوغرافية الحاصلة بواسطة هذين التلسكوبين ، والتلسكوبات التي وضعت بعد ذلك ، وفي أمكنة أخرى ، في الخدمة ، فعرفت بمظهر مختلف الاصناف الكواكبية التي نستطيع اليوم ان نصنفها بصورة منهجية . أما مجموعات الاطياف النجومية والسديمية التي قدمت فقد أتاحت ازدهار مختلف فروع الفيزياء

النجومية . وسوف يحفظ التاريخ ، بالتأكيد اسم ج . أ . هـال كطليعي عـظيم . وهو الـذي تصور وصمم ، قبل موته بقليل دراسة مشروع تلسكوب قطر فتحته خمسة أمتار فوق جبل بالومار .

ان الدراسة النوعية والكمية لاشعاع الكواكب هي المصدر الوحيد لمعارفنا حول بنيتها وحـول حـالتها الفـزيائيـة . ولكن هذا الاشعـاع الصـادر عن الـطبقات الخـارجية من الكـواكـب يقـدم فقط الشروط حول حدود مسألة شائكة هي مسألة التركيب الداخلي للكواكب وما يصدر عنها من طاقـة . ولكن الفيزياء النجومية لا يمكنها الا ان تتبع خطوة خطوة ، تقدم فيزياء الاشعاع التي تعالج علاقات المادة بالطاقة . ولكن مسارها بقي متردداً لمدة طـويلة . في القرن الأخيـر حاول هلمهـولتز ، ولان Lane ، وآخرون أيضاً أن يبنوا نظرية ميكانيكية وحرارية ديناميكية لتطور الكـواكـب ، ولكن النتائـج التي حصلوا عليها لم تكن مقبولة من قبل علماء الجيولوجيا . ونلاحظ اليوم بدون عناء نواقص هذه النـظرية القـديمة : إذ لم يكن لـديهم يومئـذٍ الا معلومات تجـريبيـة ومختصـرة حـول عمليـة البث الضوئي ؛ ان مساحة كوكب واحد هو الشمس ، كان في متناول الرصد ، وكـان من المقبول ضمنـاً ان الكـواكـب الاخـرى تختلف عنهـا خـاصـة في درجـة الحـرارة وربمـا أيضـاً من حيث التركيب الكيميـائي ، ولكنهم كانـوا يجهلون كل شيء عن حجمهـا وعن ثقلها النـوعي . وأخيراً لم يكـونوا يشكون بوجود تفاعلات حرارية نووية ، مولدة لسيول من الطاقة ترسلها الشمس والكواكب .

إن نظرية اطياف البث والامتصاص ، المنبثقة عن الفيزياء (الكنتية) الكمية وعن الميكانيـك التمـوجي ليس مكانهـا هنا ؛ ولكن اهميتهـا عظيمـة ، إذ قبلها كـان استغـلال الاطيـاف النجـوميـة والسديمية غير كامل . وعلى كل عَمِلَ اكتشاف تجـريبي كواكبي خـالص ، وبصورة كبيـرة ، على تـسهيل مهمة الاختصاصيين : انه اكتشاف نمطين من الكواكـب مختلفين تماماً من حيث الضوئيـة : الكواكب القزمة والكواكـب العمـلاقة ، وهـو اكتشـاف اعلن عنـه اجنار هـرتـز بـرونغ Hertzsprung سنة 1905 . وبعد ذلك بسنين ، سنة 1910 ، درس هنـري نوريس راسـل Russel الذي تـوصل إلى تحديد مسافات 52 كوكباً ، تـوزع ضوئيتهـا تبعاً لنمـطها الـطبقي ؛ في سنة 1913 وسنـة 1914 وسع نتائجه فأشملها بضع مئات من الكواكب ، وصورها بشكل خط بياني كانت الطبقة الطيفية فيـه على محور الاحداثي الأفقي ، والضخامة المطلقة على الاحـداثي العامـودي . وفوق هـذا الخط البياني الذي ما يزال يسمى اليوم بأوائل الحروف من اسم (هرتز برونـغ ـ راسل) أي (هـ ـ ر) (H - R) ، كـانت الكواكب غيـر موزعـة عشوائيـاً وفيه نـلاحظ بوضـوح وجود سلسلتين متمـايـزتين ؛ السلسلة المسـماة اليوم بالرئيسية ، وسلسلة العمالقة . وبين راسل ان الكتل في العمالقة ليست أضخم بكثير من كتل الاقزام (عشرة إلى عشرين مرة ، لأخذ فكـرة) وان الفئتين بالتـالي تختلفان بشكـل خاص من حيث الاحجـام ومن حيث الثقل النـوعي . ان هذه الفكـرة الخصبة هي احـدى أسس الفيزيـاء النجومية .

لقد أثار عمل هرتز برونغ القليل من الضجة ؛ وثبت عمل راسـل الانتباه خـاصة وان صـاحبه رأى فيه تأكيداً لافكار قديمة سابقة قال بها لان ولوكير Lockyer حـول تطور الكـواكـب التي تشكلت على حسـاب السدائم ذات الكثـافـة الاضعف وذات درجـات الحـرارة المنخفضة نسبيـاً ، وهـذه الكـواكـب تكثفت إلى أن تلاشت طـاقتها الكـامنة الجـاذبية . ووفقـاً لهذا التصـور المقبـول بشكـل

اجماعي حوالي سنة 1920 ، نشأت كواكب عملاقة حمراء ، وصعدت السلم ارتقاءً نحو أنماط الكواكب البيضاء ، ثم نزلت في السلم إلى حالة الكواكب القزمة المتزايدة التلوين حتى وصلت إلى درجة البرودة الكاملة .

ان اكتشاف التفاعلات النووية المعتبرة ، بعد ذلك ، كمنبع حقيقي للطاقة ، طرح في النسيان نظرية لان وكذلك الرسيمة الأولى التي وضعها راسل . ومن صواب القول ان راسل نفسه قد ساهم إلى حد كبير ، بخلال حياته الطويلة ، في صنع نظريات جديدة ولكن المخطط البياني هـ ـ ر (H-R) المحسن بصورة مستمرة بقي بين يدي الفلكيين الفيزيائيين أداة عمل ضرورية رغم انه فقد بساطته الأولى ، لأنه يعطي تركيباً معبراً بشكل خاص عن احداث الرصد . اما النظرية الأساسية التي قدمها راسل حول تطور الكواكب ، فقد شكلت يومئذٍ فرضية العمل الوحيدة الممكنة ، وكانت في أساس البحوث الكثيرة العدد ، ومن جراء هذا فقد كانت أهميتها التاريخية ضخمة للغاية .

وبعد نهاية الحرب العالمية الثانية رأى علماء الفلك أمام أعينهم وبحوثهم مجالاً طيفياً جديداً هو مجال الموجات الهرتزية ، الذي كان حتى ذلك الوقت مستعصياً من الناحية العملية . وبخلال عدة سنوات بلغت تقنيات علم الفلك الاشعاعي ـ وهي تقنيات اشتقت من طرق اكتشافية وضعت من أجل احتياجات الدفاع الجوي ـ حساسية ودقة كافيتين لدراسة المصادر الاشعاعية : الشمس ، الكواكب ، النجوم ، السدم ، المجرات . واستعمال الطرق الاشعاعية الكهربائية المتزاوجة مع الطرق الابصارية ، الاصيلة جداً ، وكان مبدعها الأول برنار ليوت Lyot ، هذا الاستعمال أحدث تقدماً حاسماً في الفيزياء الشمسية ، وبالمقابل أحدث تقدماً في بعض فصول فيزياء الكرة الأرضية . ان دراسة المصادر الاشعاعية المجراتية أو الخارجة عن المجرات لم تكن أقل خصباً لأن الراديو تلسكوب أو المرصد الاشعاعي « يرى » أبعد من التلسكوب الفوتوغرافي .

وأخيراً وفي 4 تشرين الأول سنة 1957 دخل حلم قديم من أحلام البشرية مجال الامكان . في هذا اليوم أمكن وضع آلة تدور في مدار حول الأرض . وبعد أربع سنوات دار أول قمر صناعي يحمل انساناً حول الأرض ، ثم تلاه آخر ، وكانا يدوران بحرية خلال عدة ساعات .

وقدمت الأقمار الصناعية الكثيرة العدد المرسلة لتدور حول الأرض الكثير من التقديمات خاصة للجغرافية الفيزيائية ؛ ولكن أحد هذه الأقمار دار حول القمر وأعطانا صورة أولى عن وجه القمر الآخر المجهول . ولم يكن عهد الملاحة الفضائية بالذات بعيداً جداً .

فبمقدار ما يوسع العلم سلطانه يصبح فهم كنهه أكثر مشقة وتعقيداً . منذ قرنٍ من الزمن كان بامكان أي انسان مثقف ، وبدون أن يكون فلكياً ، ان يستوعب الطرق الرئيسية ، والنتائج الأكثر أهمية التي تحققت في علم الفلك . أما في أيامنا فان هذا المجال العلمي يستعين بعدد أكبر من التقنيات المختلفة التي تشكل اختصاصات متنوعة . ولهذا جرت الاستعانة بالعديد من المعاونين من أجل تحرير مختلف أقسام هذا الفصل . فإن نتج عن ذلك بعض الثغرات ، أو بالعكس ، بعض التكرار ، إلا أن القارىء يجد هنا معلومات من الدرجة الأولى .

II ـ التلسكوب والمراصد

ان التقدم الحاصل منذ مطلع القرن السابع عشر في مجال بناء المناظير الفلكية قد أتاح أرصاداً بالعين واضحة ومفصلة ، للسطوح الكواكبية وللنجوم المزدوجة . وأمكن رصد نجوم متناهية الضعف ، بفضل تكبير قطر المهداف (الشبحية ، objectifs) الامر الذي أدى إلى تحسين قدرة الفصل وإلى زيادة كميات الضوء الملتقطة .

وفي أواخر القرن التاسع عشر بلغ قطر بعض كاسرات الاشعة المتر (مجلد III) ، ولكن بدا من المستحيل تجاوز ذلك بسبب الصعوبة في صنع صحون أكبر من الزجاج الشفاف . فضلاً عن ذلك وبسبب الزيوغات التلوينية التي تحدثها المناظير ، بدت هذه أقل استجابة لمقتضيات التصوير الفوتوغرافي والتصوير الطيفي ، اللذين دخلا يومئذٍ في الاستعمال الجاري في المراصد . ولهذا بذلت جهود لتطوير آلات عاكسة خالية من هذه العيوب ، ولا تحتاج إلى كتل من الزجاج غير الشفاف ، وأسهل تحقيقاً من زجاجات الشبحيات . وفي مطلع القرن العشرين كان لبعض التلسكوبات فقط قطر يتراوح بين 80 و91 سنتم وفي سنة 1908 فقط أقيم فوق جبل ولسون تلسكوب بمعيار 152 سنتم وقد فصل مرآته ج . و . ريتشي . وكانت النتائج الفخمة التي قدمها هذا المرصد حافزاً لصنع تلسكوب قطره 254 سنتم وضع قيد العمل سنة 1918 فوق جبل ولسون . وبخلال السنوات التي تلت وضعت عدة آلات ذات قطر مقارب لمترين ، وركبت في الولايات المتحدة (ملك دونالد ، بركينز) وفي كندا (طورنتو ، فيكتوريا) .

وكان رائد الفيزياء الفلكية في جبل ولسون ج . أ . هال (1868 - 1938) الذي وضع التصاميم لتلسكوب عملاق قطرة خمسة أمتار . ان هذه الألة الفخمة وضعت في الخدمة سنة 1948 فوق جبل بالومار ، وهي منطقة محمية من الادخنة ومن الانوار في لوس انجلوس . وانجاز هذا المرصد يعتبر عملاً رائعاً في علم البصريات والميكانيك يصعب تجاوزه والكليشهات الكثيرة الفلكية والطيفية التي قدمها مرصد بالومار جددت كل معارفنا حول علم الفلك الكواكبي .

وبعد الحرب العالمية الثانية تم تركيب عدة آلات أخرى ذات قطر مهم ، رغم تواضعها نسبة إلى بالومار ، وذلك في بلدان عدة أخرى . ومنها تلسكوبات مراصد بريتوريا وجبل ستروملو في اوستراليا ومرصد هوتبروفانس ، ومرصد برلين ، وكلها ذات قطر يقارب المترين ، في حين ان تلسكوب مرصد أكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي ، في جزيرة القرم ، والذي وضع في الخدمة سنة 1962 يبلغ قطره 2,6 م وان تلسكوب مرصد ليك (1960) يبلغ قطره 3 أمتار .

هذه التلسكوبات ذات النمط الكلاسيكي وذات المرايا الرئيسية المحدودبة تتيح أخذ صور ، أما مباشرة (بؤرة رئيسية) أو بعد انعكاس مسطح (بؤرة نيوتون) . وتقوم مرايا متزايدة التقعر ومساعدة بتكبير السلم (بؤرة كاسيغرين) أو تعيد ارسال الصورة إلى مختبر ثابت (بؤرة كودي) . ولكن هذه التركيبات الابصارية لا تمكن من الحصول على كليشهات لحقول نجومية كبيرة : ان تلسكوب هال لا يعطي صوراً واضحة إلا في حقل دائري من 15 ثانية . ومنذ زمنٍ بعيد حاول

العديد من الفلكيين تفادي الخطأ الخطير . في سنة 1905 ذكر ك . شـوارزشيلد الشروط التي يجب أن تتوفر في هذه التلسكوبات التسطيحية ذات الحقل الواسع . وأشار هـ . كريتيـان إلى بديـل مثير للاهتمام بشكل خاص ، هو تلسكوب ريتشي ـ كريتيان الذي يتألف من مرآتين مقطعهما هو منحنى متصاعد . ورغم بعض خيبات الأمل الناتجة عن صعوبة التحقيق فان آلات من نمط مماثل قد جهز بها مرصدان كبيران ، أحدهما مرصد الجـامعات الاميـركية من مجمـوعة أورا A.U.R.A. في كيت بيك Kitt Peack ، ومرصد المشروع الاوروبي الجنوبي (تلسكوب قطره 3,5 م) .

ولكن حقـل هذه الآلات يبقى ضيقـاً ، من عيـار درجـة واحـدة في أحسن الحـالات ولحسن الحظ قدم عالم بصري في مرصد همبورغ اسمـه ب . شميدت ، حـلاً عظيمـاً لمشكلة التلسكوب ذات الحقـل الواسـع ، وذلك بـادخال شفـرة مصححة اسمهـا « شفرة شميـدت » وغايتهـا تصحيح الزيغـان الناتج عن كروية المرآة في التلسكوب عندما يتلقى ضمـائم من الاشعة المتـوازية (راجـع بهذا الموضـوع دراسة ف . رونشي ، الفصـل ٧ من القسم الثاني) . هـذا الجهاز يتيح الحصول على صور ممتازة في حقـول واسعة جـداً ذات قطر يسـاوي 10 درجات على الاقـل وقد تم تـركيب العديد من تلسكوبات شميدت . ومرصد جبل بالومار يملك تلسكوبه شفرة قطرها 120 سنتم ومـرآة قطرها 180 سنتم ، وهو يمتاز بصفة ابصارية رائعة جداً . ويعطي كليشهات ضلعها 40 سنتم وتغطي ما يقارب مئة درجة مربعة . وهذا ما أتاح وضع خارطة لكل السماء الشمـالية بـاسم « مسح السمـاء في بالومار » .

واقامة هذه المعدات قد طرحت العـديد من المسـائل وأهمهـا اختيار مـوقع المـراصد بحيث يجب أن تكـون الآلات بعيدة عن أنـوار المدن الكبـرى وأن تكـون في منـاطق تكـون فيهـا السمـاء مكشوفة عادة والفضاء مستقراً حتى لا يخرب التشويش الصور . وتتحقق هذه الشروط في الجبال ، وفي كاليفورنيا مثلاً التي أصبحت المكان الاسمى للفيزيـاء الفلكية العصـرية . ولكن هـذه الشروط تتحقق أيضاً في مناطق أخرى (المتوسط ، الحدود الشمالية لجبال الحملايا ، الـخ) حيث أقيمت عدة مراصد حديثة .

والمشكلة الرئيسية الباقية هي تجهيز نصف الكرة الجنوبي .

وبالفعل ان هذا النصف قلما احتوى الا تلسكوبين قديمين نوعاً ما من قطر 187 سنتم ، وهذه المعدات غير كافية اطلاقاً لدراسة السماء الجنوبية الغنية جداً بالكواكب الاستثنائية . وجدير بالـذكر بشكل خاص انه اذا كانت دراسة مركز مجرتنا يمكن أن تباشر إلا من نصف الكرة الجنوبي . وهناك عدة مشاريع قيد الدرس لتلافي هذا النقص . فقد وقّعت 5 دول أوروبية على اتفاقية من أجل اقـامة مرصد مجهز بتلسكوب قطره 350 سنتم ، وبتلسكوب شميدت شبيه بتلسكوب جبل بالومار ، أما في منطقة غران كارو (Grand Karoo) في مقاطعة الكاب في افريقيـا الجنوبيـة ، أو في جبال الانـدس الشيلية شمالي سانتياغو . وتنوي الولايات المتحدة من جهتها اقـامة مـرصد كبير في الشيلي ، في حين أقر الكومنولث البريطاني مشاريع مماثلة في أوستراليا .

III - اللاقطات

إن أقدم لاقط للضوء إستخدمه الفلكيون هو العين البشرية ، وما تزال أكمل لاقط . وانتاجها ممتاز ، وفي بعض الظروف تكون حساسة حتى حدود بضعة فوتونات ومن المهم جداً ان مدة لقط العين أو اللمح لا تتجاوز إلى 2 من أعشار الثانية أي أن العين تستطيع بخلال هذه اللمحة أن تجمع طاقة الفوتونات ، ثم تحول مجموعها إلى احساس بصري ؛ وبعد ذلك تمحي وتبدأ من جديد . هذه القدرة تجعل العين مستعدة جداً لالتقاط ظواهر هاربة وعابرة . ونحن نرى هنا قدرتها المدهشة على التكيف مع الحياة اليومية .

في الأرصاد الفلكية تحتفظ العين بهذه الخصائص التي يمكن أن تستخدم بجدوى عندما يقتضي الأمر تعيين كوكب بواسطة خيط ميكرومتري ، أو في حالة الاسطرلاب غير الشخصي . ومن المستحيل تقريباً ضمن هذه الشروط ، ورغم تقدم الالكترونيك ، انجاز لاقط بمثل هذا الكمال أو يعلوه . ويجب أن نقول ان العين تمتاز بأن لها امتداداً في الدماغ البشري الذي لا تستطيع آلة الكترونية مجاراته في القدرة على الغربلة والتصنيف والربط والتأويل .

إن الامكانية الوحيدة المعطاة للاقطات الفيزيائية ، والتي تمتاز عن العين ، تكمن في قدرتها على مراكمة طاقة الصور « الفوتون » ، في أزمنة أطول بكثير ، مما يمكن من تعقب أسهل . ان الصفيحة الفوتوغرافية تمتلك هذه الميزة . وفي علم الفلك قد تستمر مدات اللقط الفوتوغرافي حتى تبلغ سبعين ساعة ، ومن الممكن إذاً تصوير كواكب أو تسجيل أطياف تحت عتبة الرؤية بكثير . والمكسب الممكن يتعلق بالخصائص الابصارية التي تتمتع بها الأدوات المستعملة ، لأن الضوء الطفيلي في السماء قد يلعب دوراً مهماً بخلال الجلسات الطويلة ، فيحجب إلى حد ما الصفيحة . ان امكانات الفوتوغرافيا قد أشار إليها آراغو Arago منذ 1839 في اكاديمية العلوم الفرنسية . وكانت الصور الفوتوغرافية الأولى التي تحتوي على أهمية علمية ، من صنع جانسن ، وكان يومئذٍ مديراً لمرصد ميدون . وكانت صوراً رائعة للشمس ما تزال حتى اليوم تثير إعجاب الفلكيين . وتجاه حالة ضعف ضوء الكواكب كان التقدم بطيئاً جداً . في تموز 1850 حصل بوند وهيبل ، في مرصد هارفارد ، وفقاً لتسجيلات داغر ، على صورة فيغا (Vega) بخلال مئة ثانية من اللمح . وكان من المستحيل يومئذ الحصول على صورة لكوكب من الدرجة الثانية في الضخامة . في سنة 1875 كانت هناك عودة إلى التجارب باستعمال اسلوب اللدائن الرطبة وأصبح من الممكن تصوير ميزار ورفيقه انما توجب انتظار سنة 1880 حتى يشرع بيكرنغ Pickering في هارفارد في تصوير أكبر مجموعة من الصور الفوتوغرافية للسماء ، على صفائح من الجلتين ، وهي أكبر مجموعة في العالم تضمنت تصنيف أطياف أكثر من 225 الف كوكب . وأتاحت الفوتوغرافيا الحصول على كل المعطيات تقريباً التي انطلق منها علم الفيزياء الكواكبية .

وبخلال هذا القرن العشرين تقدمت حساسية ورهافة اللدائن والمستحلبات تقدماً بطيئاً . وفي سنة 1954 حصل و . س . فنسن في مرصد جوهانسبورغ على صور فوتوغرافية جميلة وملونة

للمريخ . وفي سنة 1958 حصل و . ش . ميلر في جبل بالومار على صور فوتوغرافية رائعة وملونة للكواكب والسدم .

وهناك معطيات أخرى أساسية بالنسبة إلى الفيزياء الفلكية قد توفرت بفضل لاقطات متنوعة تستعمل ظاهرات التصوير الكهربائي . في سنة 1905 قدم أنشتين نظرية المفعول التصويري الكهربائي وبيّن ان كل حبة من الضوء أو فوتون تستطيع أن تقذف من سطح تصويري حساس الكتروناً واحداً وإذا عرفنا كيف نلتقط هذا الالكترون يصبح من الممكن التقاط القسم الاقصى من الضوء وهو الفوتون . هذا الالتقاط للالكترون ، أصبح ممكناً باستخدام ظاهرات البث الثانوية التي أتاحت تحقيق المضاعفات التصويرية . ان الحساسية القصوى والامانة في هذه المضاعفات التصويرية أدتا إلى نتائج قلبت رأساً على عقب التصوير المتري الفلكي منذ حوالي خمس عشرة سنة . ومنذ 1907 ، أنجز ج . ستيبنس القياسات الأولى للدفق الأولي الصادر عن القمر بواسطة خلية تصويرية مقاومة من مادة السيلينيوم ، ولكن هذه الخلية لم تكن حساسة كفاية ولا أمينة كفاية حتى تصلح للاستعمال في التصوير المتري النجومي . وحوالي 1922 استعمل ج . روجيه Rougier في مرصد ستراسبورغ وغوثنيك Guthnick في مرصد بابلسبرغ الخلايا الأولى التصويرية الكهربائية من مادة البوتاسيوم ، من أجل قياس الضخامات الكواكبية والتصوير المتري للقمر .

وفي حوالي سنة 1932 حسن ويتفورد كثيراً المضخمات مما أتاح استعمال الخلايا التصويرية الكهربائية بفعالية أكبر .

وفي سنة 1936 أنجز زوريكين أولى مكثرات الصور وكان ويتفورد وكرون أول من استعملها في علم الفلك ، ولكن النتائج كانت أقل جودة مما هي عليه عند استعمال الخلايا التصويرية الكهربائية لأن حساسية الصور الكاتودية ضعيفة ، وتيار الظلام مرتفع ، وبعد سنة 1941 جرى تحسين ضخم بواسطة مكثر الصور (1 ضرب 21) الذي وضعته شركة (ر . س . آ) (R.C.A) وبواسطة مضعفات الصور التي تحققت منذ 1947 في مرصد باريس . ان هذه الظاهرة التصويرية الكهربائية بالذات هي التي استعملها آ . لاليماند سنة 1936 لتسجيل صور بواسطة كاميرا الكترونية . ومنذ 1955 استعملت هذه الكاميرا في مراصد هوت بروفانس وفي بيك دو ميدي ، ومنذ 1959 في مرصد ليك في كاليفورنيا والصورة المسجلة بواسطة الفوتو الكترون يمكن أن تكون عشر مرات أدق من الصورة الفوتوغرافية الكلاسيكية ، والحساسية يمكن أن تكون مئة أو ألف مرة أكبر من حساسية الصفيحة الفوتوغرافية ، والجواب ، أي عدد حبات الفضة المبيضة ، يتناسب مع عدد الفوتون الحاصلة : ولا يوجد حد تقف عنده الحساسية .

ان البولومتر أو ميزان الحرارة الكهربائي الذي وضعه لانغلي سنة 1900 يستخدم تغير مقاومة موصل ضعيف الطاقة الحرارية ، فيسخن تحت تأثير الاشعاعات . وإذا وضع الموصل في الفراغ تحسنت الحساسية . ولقياس هذه السخونة يمكن استعمال البطارية الحرارية الكهربائية (كوبلنتز ، 1913) الموضوعة أيضاً في الفراغ . وتتشابه حساسية البولومتر وحساسية البطارية الحرارية . وبدأ العمل الضخم من قبل آبوت حوالي سنة 1880 الذي استعمل البولومتر كلاقط للطاقة ، وما يزال هذا

العمل مستمراً تقريباً حتى أيامنا هذه وبصورة رئيسية في الدراسات حول الشمس . وفي حالة الكواكب أو النجوم ، حيث تبدو حساسية البولومتر ضعيفة جداً ، فضل غوبلنتز وبتيت ونيكولسون (1906 - 1927) استعمال الازواج الحرارية الكهربائية في الفراغ ، ولكن الحساسية ما تزال ضعيفة جداً ، والقياسات لم تكن ممكنة الا بالنسبة إلى الكواكب البراقة جداً .

في هذه الدراسات المتوجهة نحو تحت الاحمر ، حصل الفلكيون على بعض النجاح بواسطة اللاقطات التي تستخدم خصائص الموصلات النصفية وخاصة سولفور الرصاص أو كبريتات الرصاص . وفي سنة 1947 انجز ج . ب . كيبر مدوناً طيفياً (سبكتروغراف) للأشعة تحت الحمراء ولاقطه هذه الخلايا الجديدة من كبريتات الرصاص . وقد انجز بواسطة هذا الجهاز استخدام عدد كبير من شرائط الامتصاص للضوء الذي تبثه كواكب ضوؤها من عبار (2,1μ) . ولكن هذه المناطق تحت الحمراء تتغير بعمق بفعل شرائط امتصاص الفضاء الارضي ، وهناك تفكير باستخدام الاقمار الصناعية للحصول على أرصاد أفضل . هذا الاستخدام الممكن للأقمار يقتضي دراسة وضع لاقطات جديدة مؤهلة لقياس الاشعاعات التي لا تستطيع الوصول الينا ومنها فوق البنفسجي الاقصى ، وأشعة اكس ، وهذا سوف يكون منطلق اكتشافات مهمة .

IV ـ علم الفلك الأساسي والميكانيك السماوي

إن علم الفلك الأساسي يعالج مواقع أي اتجاهات الكواكب والنجوم ، والميكانيك السماوي يهتم بحركات الكواكب ؛ ومعرفة هذه العناصر تؤدي إلى تحديد النظام الجيومتري الاسنادي الذي به ترتبط معطيات الرصد ، وبهذا نتحكّم بالافادة من قسم كبير من النتائج الحاصلة في مختلف فروع علم الفلك .

ومع ذلك ، وبفضل النهضة العامة في المعارف العلمية اتسع حقل البحوث الفلكية بحيث ان علم الفلك الأساسي والميكانيك السماوي لم يعودا يحتلان إلا مركزاً ضيقاً في تطور علم الفلك ، خاصة وان هذين العلمين لا يشتملان اصطلاحاً على مواضيع مستجدة مثل دراسة السرعات الاشعاعية والدوران المجري ومسائل الديناميك الكواكبي الخ .

وترتيب أساليب العمل هو عامل مهم في الانجازات المحققة وبدلاً من تركيم النتائج المتنافرة ساد منذ بداية القرن ، وبصورة منهجية وضع برامج دولية . ان قرارات الاتحاد الفلكي الدولي المؤسس سنة 1919 والذي يضم حالياً 39 دولة ، تنفذ بأمانة وانضباط مقبولين نوعاً ما ، وهي تسهل الحصول على دعم حكومي وخاصة في المجالات المالية .

1 ـ علم الفلك الأساسي

عدا عن الاجهزة الخاصة المشار اليها اعلاه هناك عدد كبير من المعدات الجديدة قد شاهدت النور ، ولكنها لم تثبت فعاليتها بعد .

إن الآلة الشمسية الهاجرية ما تزال تحتفظ بدورها الرئيسي . ومنذ ادخال الميكرومتر

اللاشخصي (مجلد III) ، أدخلت تسحينات متعددة (تسجيل فوتوغرافي أو تصوير كهربائي للدوائر ، كرونوغراف طباعي ، وتآلية التسجيلات) الا ان أياً منها لم يكن له أثر مشهود على دقة القياسات . نذكر فقط ان التسجيل الكهربائي التصويري للعبور ، وهو تقنية دقيقة درسها ن . بافلوف بعد سنة 1933 ، يعطي الآن نتائج ممتازة في الاتحاد السوفياتي .

ثوابت أساسية ـ سنداً لأعمال نيوكومب (مجلد III) ، حدد « المؤتمر الدولي للكواكب الأساسية » ، المنعقد في باريس سنة 1896 القيم العددية الاصطلاحية بالنسبة إلى تمايل محور الأرض (9",21) ، والزيغان (20",47) وتغير الموقع الشمسي (8",80) . وكلف المؤتمر نيوكومب بحساب التعاقب بين الاعتدالات ، انطلاقاً من الحركات الخاصة في جدوله الأساسي . ان قيمة هذه الثابتة قد تحددت نهائياً في سنة 1905 (50,256 ثانية) .

إن الفائدة المرجوة من توحيد الثوابت الأساسية كانت ضخمة ، ومن الملحوظ أيضاً إن القيم المعتمدة اليوم (إن لم يكن من المحظور أو المستبعد تغيير القيمة المتفق عليها ، قبل وقوع اختلافات خطيرة) تقارب القيم المختارة ، وهذا ما تثبت منه « المؤتمر الدولي حول الثوابت الأساسية » الذي عقد في باريس سنة 1950 .

والواقع ان القيمة الملحوظة في ما خص ثابتة تمايل محور الأرض لا تتفق مع القيمة (9",227) التي تستخلصها النظرية من الثوابت الأخرى (مثل التتالي ، وتسطيح الأرض) ؛ ويبين جفريس سنة 1952 ان الاختلاف يفسره عدم يبوسة الأرض . وبالنسبة إلى الزيغان تقضي التحديدات الحديثة بزيادة (0",03) وحتى أكثر على الثابتة . وفي ما خص التتالي ، ومن أجل احتساب الدوران المجري بصورة رئيسية ، هناك تمنٍ بادخال تصحيح قدره (0,008s +) . أما قياس تغير موقع الشمس فيعطي فروقات ما تزال غير مفسرة . وهذه الثابتة توجد مع العديد من الظاهرات الفلكية . ونحصل عليها بواسطة طريقة التثليث ، التي تعتبر الأولى تاريخياً (مجلد II) ؛ والنجيمة ايروس المكتشفة في أواخر سنة 1897 كانت موضوع حملات تنظمت أثناء تعارضين مناسبين في سنة 1901 و 1931 حيث كانت المسافة بينها وبين الأرض ثلاث وخمس مرات أصغر من مسافة الشمس . واستنتج هنكس القيمة (8",806) سنداً للنتائج التي حصلت سنة 1901 ، فيا توصل سبنسر جونس إلى القيمة 8",790 سنداً لنتائج 1931 . ومن جهة أخرى ، وبعكس ما حدث في القرن الثامن عشر (مجلد II) ، حيث سرعة الضوء تأتي الآن من قياسات المختبر ، ان التمايل الشمسي يستخرج من الزيغان ويستقر حول 8",790 مباشرة . ومن بين التحديدات الأخرى الجديرة بالثقة ، تحديد يستنتج من كتلة النظام أرض ـ قمر ، كما استخرجه أ . راب سنة 1950 من الاضطرابات التي أصابت ايروس ومؤداها 8",798 .

ان التحكيم بين هذه التقديرات القليلة التوافق ربما يرد إلى التحديدات المسافية الجارية بواسطة الرادار . فالاصداء من الزهرة حصلت منذ 1958 في الولايات المتحدة . وهذا الاسلوب لا يتيح الاستنتاج منذ الآن ، وذلك بسبب امكانية الخطأ المنهجي الكامن، ولكن النتائج الأخيرة الحاصلة في الاتحاد السوفياتي وفي الولايات المتحدة (1961 - 1962) فيها توافق كبير فالوحدة

الطولية الفلكية ، وكذلك تغير الموقع الشمسي الناتج عنها يقعان على التوالي في الفرجات التالية :

$$149\,598\,000 \text{ km} \pm 2\,000 \text{ km et } 8'', 794\,15 \pm 0'',000\,15$$

الجداول الأساسية ـ في هذا المجال الشيء الأكثر أهمية هو التوصل إلى اعتماد جدول موحد . وهو قياس أوصى به « المؤتمر الدولي للتقويمات = الروزنامات » (1911) ، وقرره الاتحاد الفلكي الدولي سنة 1925 ، وهو لم يدخل في التطبيق فعلاً الا ابتداءً من سنة 1941 بعد نشر التقويمات بأربع لغات نقلاً عن جدول يحتوي على 1535 كوكباً ، عنوانه « دريتر فوندمنتل كاتالوغ Dritter Fundamental Katalog » (FK3) . وهذا الجدول الأخير حصل عليه كوف Kopff بعد توسيع وتحسين جدول آورس Auwres (مجلد III) ان ف . ك . 4(FK4) الذي حل محل الأول منذ 1962 ، مستخلص منه بعد تصحيحات طفيفة .

وبقيت الجداول الأساسية تصدر عن نفس المصادر (الارصاد الهاجرية المطلقة ، وبصورة رئيسية في مراصد غرينتش وواشنطن وبولكوڤو والكاب) ، وطبيعة أخطائها المنهجية قلما تغيّرت . والآن فقط بدأت تظهر فكرة موضوعية عن هذه الأخطاء : ان الاسطرلاب غير الشخصي قد مكن ب . غينوت ، سنة 1958 ، ان يربط بدقة مواقع الكواكب البعيدة بعضها عن بعض ؛ ولأول مرة كانت فروقات مطلق جدول مستند إلى نظام وسط مثالي قد ظهرت . وساعد وضع سلسلة ملائمة من الاسطرلابات غير الشخصية على وضع نظام للمواقع عارٍ من الاخطاء المنهجية . وحدها توجهات النظام (خط الاستواء والاعتدال) وغنى هذا النظام ، كانت تشوش يومئذٍ على الآلات الهاجرية .

وأكثر الجداول أهمية عن الحركات الخاصة الذاتية ، هو الكاتالوغ العام (أو G. C) ويتضمن 33342 نجمة . وبنى ل . بوس (1910) في بادىء الأمر جدولاً أولياً (P. G. C) يتضمن 6188 نجمة . ثم وسعه بواسطة 200000 رصد هاجري جرت بين 1907 و 1918 (في الباني في الولايات المتحدة ثم في سان لويس ، الارجنتين) ؛ وأكمل ابنه ب . بوس العمل . وظهر الجدول العام سنة 1937 ، فاعتبر احد الابنية في علم الفلك المعاصر ؛ وكان هذا الجدول مصدراً لعدد ضخم من الأعمال الفلكية الكواكبية .

جداول المواقع ونظام الاسناد ـ منذ اكتشاف الدوران المجرّي ، أصبح البحث عن مرتكز مطلق أمراً ملحاً . وكان المستند المثالي هو نظام الجمود الكوكبي (اندينغ ، 1905) ، المعرّف بقوانين الميكانيك انطلاقاً من حركة الشمس والكواكب . وهو صعب التناول . إلاّ أن ربط الكواكب بالنجوم الصغيرة ، وهذا ما اقترحه ف . ديزون Dyson سنة 1928 ، كان موضوع دراسات متقدمة في الولايات المتحدة الاميركية وفي الاتحاد السوفياتي .

وفتح الربط باشياء بعيدة أقصى البعد سبيلاً آخر ، وان لم يؤدِّ بالضرورة إلى نفس النتيجة . وبهذا المعنى لفت هـ . كورتيس سنة 1928 الانتباه الى السُدم الخارجة عن المجرة ؛ وبواسطة

كليشهات أخذت على فترات من 25 سنة ، أمكن تحديد اتجاه نظام الإسناد ضمن حد أقل من 0"،01 تقريباً .

وتمّ حول هذا الموضوع وضع برنامجين كبيرين : البرنامج الأول وضعه بولكوفو (1932) ، وبعد ذلك بخمس عشرة سنة وضع برنامج ليك . واستثمارهما مرهون بوجود جدول موسع يشمل الكواكب الضعيفة التي تستخدم مواقعها كوسيط في ربط السُدم الخارجة عن المجرة بالكواكب الأساسية .

إن إعادة رصد الكواكب الموجودة في الجدول العام (A. G) (مجلد III) قد مكنت من العثور على هدف جديد . ان التحديدات التي جرت سنة 1929 - 1930 ، والتي أدت إلى وضع (A. G. K. 2) قد أعيد النظر فيها بعد خمس وعشرين سنة . وفي الحالين تم تصغير كليشهات تغطي السماء الشمالية أخذت في المسجل الكواكبي ذي الحقل الواسع في برجيدورف (وأيضاً ، للمرة الأولى في مرصد بون) ، بواسطة أرصاد هاجرية امتدت عبر خمس سنوات ، وساهم فيها العديد من المراصد . والجدول العام (A. G. K. 3) الذي صدر سنة 1964 ، تضمن الحركات الذاتية المنسجمة لـ 180000 نجم تقريباً . أما بالنسبة إلى نصف الكرة الجنوبي فالبرنامج ما يزال في بداية تنفيذه .

2 ـ الارض والزمن

آلات الرصد ؛ حفظ الزمن ـ ان تغير القطب الارضي وقابلية العامودي المحلي للتغير ، كانا أمرين معترفاً بهما (مجلد III) ودراسة الظاهرات المرتبطة بالأرض وبمحور دورانها (خط الطول وخط العرض أو الارتفاع) ، تتطلب أدوات قادرة على تجسيد نظام الاسناد المحلي تلقائياً .

ان الناظر الفوتوغرافي السمتي (الانبوب السمتي الفوتوغرافي أو P.Z.T) يقوم تماماً بهذه المهمة . فهو سمتي خالص ؛ صممه ف . روس سنة 1915 . وتبنى هذه الآلة وطورها ف . ليتل سنة 1933 من أجل تحديد الوقت . وكانت النتائج ذات دقة داخلية كبيرة . أما الاسطرلاب الذي تخيله آ . كلود سنة 1899 ونفذه بعد ذلك بسنتين مع درين كورت ، فقد استخدم الموشور المتساوي الاضلاع من أجل تحريف ضمتين ضوئيتين نازلتين ، الأولى مباشرة ، والثانية منبثقة عن انعكاس فوق حمام من الزئبق . وتم تحقيق تطابق الصورتين عندما بلغ ارتفاع النجم 60 درجة مئوية . وبفضل طريقة الارتفاعات المتساوية التي وضعها غوس سنة 1808 أمكن الحصول على ارتفاع المحطة ، والزمن الكواكبي المحلي للرقاص .

وكانت الآلة في أول الامر محمولة ثم أصبحت آلة مرصد بعد ان صحح عيباها : وحدانية التطابق المرصودة ، ووجود « عنصر شخصي » يختلف باختلاف الدوزنة أو التعيير . وأمكن الاسطرلاب اللاشخصي الذي صنعه آ . دانجون Danjon ان يتلافى العيب بواسطة كاسر للنور مزدوج بامكانه ان يحدث انحرافاً متغيراً . وتم صنع النموذج سنة 1951 . وأتاح النموذج الذي بني كسلسلة منذ سنة 1956 ، رصد الكواكب من ضخامة 6 . وهو يتميز بدقة داخلية مقدارها 0"،10 (من أجل رصد فردي للكوكب) وبغياب الخطأ المنهجي الذي يمكن ادراكه .

ان استعمال مولدات تواتر قد حول مسألة حفظ الزمن وغيرها .

إن الساعات ذات المرنان ، التي ظهرت سنة 1925 ضعيفة الأمانة اذا قورنت بالساعات ذات الرقاص . وبنفس الحقبة شرع البعض في تثبيت تواتر البث الراديو - كهربائي بواسطة تواتر القضبان ، والصفائح أو حلقات الكوارتز ذات الأوجه المعدنية ، التي يغذي تجاوبها ظاهرة الكهرباء المولدة عن طريق الضغط . في سنة 1929 أخضع و . ماريسون Marrison مؤشراً زمنياً (ساعة) لهذا التواتر الرنيني (100000 هرتز) ، بعد اجراء التبطيء اللازم . واستكملت ساعات الكوارتز بسرعة ، ودخلت في الاستعمال في المراصد ابتداء من سنة 1933 ؛ واليوم - ومع الأخذ بالاعتبار « القصور الثابت عموماً » ، فان الفروقات اليومية لمسجلات الوقت هذه لا تتجاوز بعض أجزاء من مئة من أصل مليون جزء من الثانية .

إن الساعات الذرية تستعمل التواتر الهرتزي المقرون بالإرجاعات الداخلية للمادة ، وهي ظاهرات تعود معرفتها إلى سنة 1934 .

إن مثل هذا التواتر يستعمل لتثبيت تواتر المتأرجح الاضافي الكوارتزي . ان أول ساعة ذرية مؤهلة للقيام بعمل مستمر حققها ايسن Essen وباري سنة 1955 . وتواترها الام هو تواتر نقل معدن السيزيوم أو الكازيوم ، وهو نقل توصل بعد ذلك إلى دور المعيار المستقل للزمن .

حركة القطب - منذ سنة 1900 سمح المكتب الدولي للارتفاعات برسم مستمر للمسار الذي يرسمه القطب الشمالي على سطح الأرض . وكان هذا المكتب يدير في بادىء الأمر 6 محطات رصد موزعة بانتظام على خط مواز لخط العرض 39°8' + . وكان عجز بعض هذه المحيطات يستدرك بمعونة تقدمها المحطات « المستقلة » التي وضعها PZT ، ومنذ مدّة قصيرة الاسطرلابات غير الشخصية .

ان الميزات الرئيسية لحركة القطب كانت معروفة منذ 1892 (المجلد III) ؛ وذلك بوتيرة متزايدة حيث صدر حول هذا الموضوع ومنذ ذلك الحين أكثر من ألفي عمل : وهذا يعني إن معارفنا قلما ازدادات تقدماً .

وسوف يطول الكلام اذا أردنا أن نبحث هنا أسباب هذا الفشل . وقد تحسن الوضع عندما قصرت الأخطاء المنهجية في التحديد عن بلوغ جزء من مئة من الثانية . ويكون من المفيد أن تستعمل الـ PZT على جداول بالكواكب الضعيفة شرط ان تكون دقيقة ومتجانسة ، وان يتم تركيز اسطرلابات غير شخصية بشكل ملائم . وعلى كل حال ، يضاف إلى النتائج الصادرة عن تحديدات الارتفاع ، النتائج الحاصلة من تحليل تحديدات الوقت . وهذه التحديدات الأخيرة التي يتزايد ضبطها باستمرار وبسرعة تتمتع بتماسك مجرب .

الوقت وخطوط الطول - ان مسألة خطوط الطول قد تغيرت منذ أمكن استعمال الاشارات الراديو كهربائية . فبدلاً من القياسات المتعلقة بأزواج من المحطات مع تحويل ونقل الكرونومتر أو المقياس اللوني (مجلد III) ، وضعت القياسات الفردية المرتبطة بشكل متبادل بالتنصت إلى نفس الاشارة . ان ضمان تحديدات الطول في البحار أصبحت مؤمنة الآن .

إن أول بث منتظم لاشارات الوقت الراديوكهربائية قد تم تحقيقه في المرصد البحري في واشنطن سنة 1905 . وعندما أصبح المدى كافياً لوحظ إن البث الصادر عن مختلف المراكز لم يكن متطابقاً ، مما حمل في سنة 1911 ، الجنرال فرييه Ferrier على اقتراح انشاء جهاز مركزي موحد . ووضع المجلس الدولي للبحوث (الذي أصبح فيما بعد المجلس الدولي للاتحادات العلمية) المجتمع في بروكسل سنة 1919 ، وضع ملاكات « المكتب الدولي للساعة » (أو B.I.H) وحدد مركزه في مرصد باريس .

إن مهمة هذا المكتب الدولي هي تجميع تحديدات الساعة المجراة في مراصد مشتركة لهذا المكتب (وهو تحديد يبلغ إلى المشتركين ما عدا باريس بواسطة الاشارات الساعاتية) ثم استخلاص الساعة « الاكثر دقة » . وبصورة أوضح انه « الوقت الشامل » (زمن شمسي وسطي من غرينيتش يضاف إليه اثنتا عشر ساعة) يحدد وينقل . إن اعتماد خط غرينيتش[1] كخط هاجرة كان الأساس الدولي ، وهو أحد التدابير التوحيدية المقرّرة في المؤتمر الدولي للتقاويم المار ذكره .

ووضع شبكة عالمية متجانسة لخطوط الطول كان موضوع ثلاث حملات دولية كبرى تمت سنة 1926 و1933 و1958 . وهذا الأمر يتجاوب مع حاجة الفلكيين والمساحين الأرضيين في الوصول إلى معيار قدره 0,001 من الثانية قرب خطوط الطول المتعلقة بالمحطات الأساسية وتبديلاتها .

وتسهل تنظيم هذه الحملات نتيجة ترابط موضوعها مع موضوع ثانوي يهم الجمهور من ناحية أخرى ، وهو موضوع تكوين القارات . في سنة 1911 عرض ويجينر نظرية الانتقالات القارية وبموجبها انفصلت القارات الملتحمة في الأصل ، بشكل بطيء من خلال حركة ما تزال مستمرة في أيامنا .

والواقع كانت النتائج الحاصلة بخلال عمليات مسح الاطوال ، مثمرة فيما يتعلق في موضوعها الرئيسي ، إذ دلت على أنه لا يوجد في الوقت الحاضر انحراف ملحوظ : فبدلاً من البعد السنوي الذي يزيد على عشرة أمتار ، كما كان ويجينر يتكّهن ، بين أوروبا وأميركا الشمالية نجد الآن تقارباً ، وان بدا تافهاً إلاّ أنه يبلغ متراً واحداً في السنة .

سرعة دوران الأرض ـ ان دوران الأرض بذاتها قد استخدم دائماً كأساس لقياس الوقت : احتساب الأيام ، تقسيم اليوم ، ثم بصورة أكثر دقة احتساب اليوم الشمسي الوسطي . ولكن الخلل النظري في سرعة هذا الدوران قد لوحظ منذ زمن بعيد (مجلد III) . وبترجمة نظريات حركة جسم النظام الشمسي إلى تقويمات ، جرى ضمناً الافتراض بأن اليوم الشمسي الوسطي ثابت . وتغير هذا اليوم يجب أن يظهر من خلال الاختلاف بين الرصد والتقاويم ، ويكون أكثر بروزاً كلما كانت الحركة الزاوية للجسم أكبر . وإذاً يجب أن يبدأ تقصي هذه التغييرات بتتبع حركة القمر . ونظرية

(1) ان نقل مرصد غرينيتش إلى هرستمونسو Herstmonceux لا يغير شيئاً في خط الهاجرة الأساس الذي يعتبر تعريفه الدقيق ذا طبيعة احصائية .

هذا الجسم لم تبلغ درجة الارضاء فعلاً إلاّ مع أعمال أ . براون . فقد تضمنت جداوله التي ظهرت سنة 1919 ، حداً أو عبارة تجريبية عملية ، وبعد ذلك بسبع سنوات أثبت أن هذا الحد ليس له من سبب إلاّ التأرجح في سرعة دوران الأرض . والتحليل الذي قام به سبنسر جونس سنة 1939 تناول خطوط الطول في الزهرة وفي عطارد وفي الشمس وفي القمر . وأدى هذا التحليل إلى نتائج أصبحت الآن مقبولة ، منها :

1 ـ إن اليوم الشمسي يزداد بانتظام كل قرن ما يعادل 0,00164 من الثانية . هذا الحدث ينتج عن فرق متزايد بين الوقت الوسطي والوقت الموحد يبلغ 50 دقيقة في نهاية كل عشرة قرون .

2 ـ يضاف إلى هذا الانحراف تأرجح غير منتظم كان اتساعه بخلال القرون الثلاثة الأخيرة مقدار دقيقة واحدة .

في سنة 1937 ، وبعد دراسة الفروقات بين الزمن الوسطي والفرق في ساعات الكوارتز اكتشف ن . ستويكو Stoyko تغيراً فصلياً في السرعة اليومية للدوران كان مداه الكامل يبلغ جزءاً من الف من الثانية . والتباطؤ المزمن يُعزى إلى فقد الطاقة الذي تحدثه عمليات المد والجزر من احتكاك ؛ ان التغيير الفصلي الموسمي ذو منشأ انوائي . وتم الوصول إلى البنية الدقيقة للتموج غير المنتظم منذ 1955 ، عن طريق مقارنة الزمن الأرضي بالزمن المتأتي عن طريق المعايير الذرية ؛ ان ارتباطها بالظاهرات ذات المنشأ الشمسي ما يزال قيد الدرس .

أزمنة التقاويم ـ إن الدوران الأرضي غير متسق ، وأساس سلم الزمن قد نُقل عن مؤشرات للوقت أكثر أماناً : هي مواقع الاجسام في النظام الشمسي . وتمت جدولة التقاويم المبنية على نظريات هذه الأجسام ، تبعاً لحجة تسمى « زمن التقاويم » أو (T. E) انسجاماً مع توصية المؤتمر الدولي حول « الثوابت الأساسية » الذي عقد سنة 1950 . وعملاً بقرار اللجنة الدولية للأوزان والمكاييل الذي اتخذ سنة 1956 ، أصبحت وحدة الزمن وهي الثانية مربوطة بعد الآن بحركة الشمس : انها الجزء المساوي لـ (1/31 556 925, 9747) من السنة القطبية في 31 كانون الأول سنة 1899 ، الساعة T. E12 (أي زمن التقاويم) .

وبموجب التعريف لا يكون زمن التقاويم في متناول اليد إلاّ بفعل تحليل أرصاد الأجسام الكائنة في النظام الشمسي ، وهي أرصاد ذات دقة خفيفة ، وتتطلب المراقبة بخلال عدة سنوات . ولتسهيل الوصول إلى زمن التقاويم صنع و . ماركو ويتز Markowitz سنة 1952 غرفة فوتوغرافية قمرية (كاميرا القمر) ، تسهل رصد القمر بالنسبة إلى الحقل النجومي : إن مصفاة الميل المتغير تتيح تثبيت صورة القمر بالنسبة إلى صور نجوم الحقل . ورغم وجود الكثير من هذه الآلات في الخدمة ، تكون الظاهرة المقاسة معقدة جداً بحيث يصعب التأكيد من أن النتائج تخلو من أخطاء منهجية .

إن الساعة الذرية بعد تثبيت القيمة الاتفاقية لتواترها ، تعتبر حارسة زمن خاص بها ، وهي سهلة التناول . إن المسائل التي تطرح الآن هي التالية : هل من المستبعد أن تكون المعايير الذرية المختلفة ذات انحرافات نسبية ، وإذا كان ذلك ، فإن سلم الزمن الذي تعرفه هذه المعايير الذرية

مجتمعة هل سيكون موحداً بدقة بمعنى الميكانيك ؟ إن الجواب بالايجاب اطلاقاً يخرب السلم الزمني الجديد لصالح السلم الذري .

3 ـ الميكانيك السماوي

الاكتشافات ـ منذ 1890 ازداد عدد الكواكب بتابعات جديدة (ثمان بالنسبة إلى المشتري واثنتان بالنسبة إلى زحل وواحدة بالنسبة إلى اورانوس وإلى نبتون) . وكان للنجيمات رفيقات عديدات كما ان مداراتها قد حدد منها في الوقت الحاضر أربعة آلاف مدار ؛ وهذه بعض فرائدها : هرمس (اكتشف سنة 1937) واقترب من الأرض إلى مسافة تزيد بمقدار النصف فقط عن مسافة القمر ؛ ايكار (1949) ويتميز بخروجية عن المركز ضخمة (0,83) ، وكان لهيدالغو (1920) Hidalgo انحدار قوي (43°) . وفي سنة 1906 تم اكتشاف أولى الكواكب الطروادية الستة عشر المعروفة اليوم بالنجيمات والتي يشكل كل منها بشكل محسوس مثلثاً متساوي الاضلاع مع المشتري والشمس . وحركتها تجسد حلاً لمسألة الثلاثة أجسام ، والتي عثر عليها لاغرانج سنة 1772 . ان اكتشاف الكوكب بلوتون فيه بعض مماثلة مع اكتشاف نبتون (مجلد III) . وتحليل بقايا رصد أورانوس حمل ب . لويل Lowell إلى حساب مدار كوكب مفترض أو احتمالي (1915) . وقامت بحوث فوتوغرافية على نطاق واسع ، وجهز مرصد فلاجستاف (في أريزونا) تجهيزاً خاصاً لهذه الغاية . وفيه اكتشف ك . تونبوف الغرض المنشود في 18 شباط سنة 1930 ، في الدرجة السادسة من الموقع المتوقع . وتمت متابعة الاستقصاء المنهجي فغطت ثلاثة أرباع السماء إلى أن وصلت إلى الارتفاع 16 ، فلم يعثر على كواكب أخرى .

إن الارصاد المباشرة حول بلوتون دلت على أن كتلته تقل بمقدار ثماني مرات عن الكمية المتأتية عن تحليل عن الاختلالات التي يحدثها . ولم يتم بعد تحديد منشأ الاختلاف .

البحوث النظرية ـ تتميز البحوث النظرية في الوقت الحاضر بغياب المدلول العملي فيها ؛ ونذكر بعضها :

ان الميكانيك التحليلي ، ودراسة الخصائص الشاملة لحلول مسألة الأجسام الثلاثة ، قد تطورا ضمن السبل التي فتحها هنري بوانكاريه ، وخاصة الأعمال التي قام بها كل من ج . بيركهوف ، وشازي Chazey وونتنر Wintner .

وجعل سوندمان Sundman سلاسل الميكانيك السماوي متلاقية بشكل منسجم (1912) وذلك بادخال متغير ضابط أو متغير استبعد استخدامه الفعلي .

ومع ليابونوف Liapounov (1905) ، وجينس Jeans (1919) وجيفريس (1947) تم الاتفاق على عدم استقرار الصورة « الاجاصية الشكل » التي تتخذها كتلة سائلة تدور بسرعة متزايدة . ولهذا الموضوع بعض الاهمية في نظرية تكوين الكون .

وقامت مدرسة سوفياتية ناشطة جداً يحركها م . سوبوتين Subbotin وج . خيلمي Khilmi وج . ميرمان Merman وآخرون فجمعت نتائج مفيدة حول مسألة الاجسام الثلاثة .

النسبية ـ وكان على علم الفلك أن يثبت أحد المفاعيل النادرة القابلة للاكتشاف والتي دلت عليها نظرية النسبية العامة (الفقرة II ، الفصل II ، القسم الثاني) : « انحراف الأشعة الضوئية » بجوار الشمس . ومنذ أن توصل انشتين إلى حساب هذا الانحراف (1916) وقعت سبعة كسوفات فقط في ظروف صالحة لتصوير الحقل الكوكبي المجاور . وقد رصد الانحراف تماماً ، ولكن القياسات اختلفت بشأنه ، وكان متوسطها يزيد على الأقل بمقدار العشر عن القيمة النظرية البالغة 1,75" .

من بين التصحيحات العديدة التي أدخلتها نظرية النسبية على الميكانيك السماوي ، لا يتيح التدقيق القائم حالياً لمعطيات الرصد ، إلا التمسك بما يتعلق بسموت الكواكب ، على ان يضاف إلى هذه التصحيحات تقدم زمني حسبه شوارزشيلد Schwarzschild سنة 1916 . وكان التقدم المهم الوحيد البالغ 42,92" يتعلق بعطارد . وقد جاء هذا التقدم يسد تماماً بقية رصد كان خفياً حتى ذلك الحين (مجلد III) ؛ ووجدت نظرية انشتين تأكيداً جاءت التحليلات الحديثة لحركة عطارد تثبته : ان القيمة التجريبية للبقية قدرها دونكومب Duncombe سنة 1958 كما يلي (43" ± 0",44) . والاتفاق ممتاز أيضاً بالنسبة إلى بقية الكواكب بما فيها المريخ .

نظرية القمر والكواكب ـ إن نظرية أي جسم تتألف من التطورات التي تصيب المعايير الثابتة التي تحدد موقع الجسم ، تبعاً للزمن ، مباشرة أو غير مباشرة . .

وحتى الآن يتوجب على صاحب النظرية أن يقوم عملياً بمفرده بأكبر قسم من العمل ، وكل مرحلة محكومة بسابقتها . ولهذا قلما يتم التركيز إلاّ على سد الثغرات الأكثر أهمية في النظريات السابقة التي كان لوفرييه ، وهيل ونيوكمب قد وضعوها : وقام غايو Gaillot بالنسبة إلى زحل بهذا الأمر سنة 1904 وإلى المشتري سنة 1913 ، وقام روس بذلك بالنسبة إلى المريخ سنة 1916 . أما القمر الذي لم تكن له نظريات مقنعة فقد شكل شذوذاً . وابتداءً من سنة 1896 كرس أ . براون Brown نفسه للقمر ، فطبق الطريقة التي وضعت سنة 1877 من قبل هيل ، وهذه الطريقة مشتقة من اقتراح قدمه أولر سنة 1768 : مفاده تصوير الحركة بواسطة مدار متحرك ذي ضخامة ثابتة . وتطلب الحساب العددي للسلاسل المثلثاتية ما يقارب من عشرة آلاف ساعة . وكانت نظرية براون (1909) والجداول التي استخرجها منها سنة 1919 في أساس التقاويم الحديثة (التقاويم القمرية المنقحة ، 1954)وفي أساس معارفنا حول تغير الدوران الأرضي .

وفي سنة 1948 غير استخدام الحاسبات الالكترونية الوضع تماماً . في المقام الأول أصبح بالامكان الحصول على تقاويم ، بصورة مباشرة ، دون الاستعانة بالنظريات التحليلية ، وذلك بدمج ـ عددياً ـ نظام المعادلات التفاضلية ، والمعالجة العددية للمادة المتوفرة من معطيات الرصد. وحسبت على هذا الأساس جداول الكواكب الخمسة الخارجية (من قبل ايكرت وبرور وكليمانس سنة 1951) وكذلك جداول الشمس والزهرة (من قبل هرغت ، 1953 ، و 1955) . فضلاً عن ذلك يمكن تصحيح نظرية ما على أساس المعطيات السابقة وذلك بتحسين قيم المعاملات . هكذا تصرف كليمانس بالنسبة إلى المريخ سنة 1961 . وأخيراً ان وضع النظريات

التحليلية تحت متناول الحاسبات الالكترونية يمكن من التصحيح ، عندما تلقم هذه الحاسبات ببراهين التغيير . هذه الطريقة نصف التحليلية، ونصف العددية يرجى منها خير أكبر ؛ فهي تواجه المسائل العامة التي كانت حتى ذلك الحين ذات حلول ميئوس من تقدمها . وقد بوشر بهذه الطريقة سنة 1959 .

في سنة 1895 ذكر نيوكمب إن ثلاث مفارقات بين النظرية والملاحظة ظلت بدون تفسير وهي مفارقات متعلقة بالحركات المزمنة في نقطة الرأس Perihélie من عطارد وفي نقطة الرأس أو السمت من المريخ وفي عقدة الزهرة . وسرعان ما أضيف لها ما تبقى من القمر في الطول .

وبعد التصحيحات النسبوية وتحسين قيم كتل الكواكب ، وتصويب سلم الزمن الارضي ، يلاحظ اليرم أن النظرية النيوتنية (المصححة بفعل النسبية) أدت إلى تصوير صحيح ما أمكن ، للحركات في النظام الشمسي .

إن مصدر التقدم الجديد يجب أن يتوقع من خلال الاختلافات المأمول ظهورها بعد ازدياد الدقة في المعطيات . حول هذه النقطة يمكن توقع الكثير من التطور المستقبلي في التابعات أو الاقمار الصناعية وحول موضوع المسائل الاكثر تنوعاً مثل مواضيع كتلة القمر والكواكب الدنيا والموقع الشمسي parallax ، وتحديد وقت الروزنامة ephémérides والارتباط الهندسي لمحطات الرصد الأرضية .

۷ ـ الشمس ، الكواكب ، القمر

شاهدت السنوات الأخيرة تطور تقنيات استكشاف مباشر للفضاء ، سبق وقدمت نتائج جديدة تماماً ولكنها أدخلت بشكل خاص في علم الفلك ثورة في بداية انطلاقتها ، والتي أمكن التنبؤ بها ، بانها سوف تكون بمثل أهمية الثورة التي أثارها اختراع المنظار الفلكي ، منذ ثلاثة قرون ونصف .

ونتجت هذه الثورة ، كما هي الحال عموماً ، عن منعطف حاسم في إمكانيات الآلات : المنعطف الذي أصبح من المأمول بسببه ـ وبعد وضع أجهزة في نقطة ما (ضمن حدود ما باقية !) في الفضاء ـ القيام بقياسات أما حول صفات الوسط المحيط ـ في الموقع ـ وأما حول الاشعاعات التي تنتشر فيه ؛ من هنا ـ في الحالة الأخيرة ـ امكانية اجتناء ـ حول أشياء ما تزال خارج التناول ـ ملاحظات مستحيلة مادياً انطلاقاً من الأرض ، ولكنها تصبح مأمولة انطلاقاً من نقطة ما بعيدة ثم أصبحت في التناول .

فإذا عرفنا ان مثل هذا الاستكشاف لا يصل حتى الآن وسيبقى كذلك لامد بعيد ، بالتأكيد ، إلاّ إلى مناطق قليلة البعد نسبياً عن الأرض ، وإلاّ إلى النظام الشمسي ، واقعاً ، عندها نفهم إن تحرير هذا الفصل المخصص له ، يختلف تماماً ـ في توازن عناصره المتنوعة ـ عما كان يمكن أن يكون عليه من قبل ، منذ سنين قليلة .

1 ـ الشمس

إن الاهتمام بالدراسات الشمسية ، الاكبر بكثير اليوم مما كان عليه سنة 1900 ، يعود إلى واقعتين :

ـ إن الشمس هي كوكب وسط أسهل للرصد بالتفصيل من أي كوكب آخر .

ـ إنّ للشمس آثاراً مباشرة على الكواكب (ومنها الأرض) وعلى الوسط بين الكواكب .

إن أياً من هذين المظهرين وإن عرفا من قبل ، لم يكن له ، سنة 1900 ، قوة الفكرة الموجهة ، وتاريخ علم الفلك الشمسي ، منذ هذا التاريخ ، هو بالضبط تقريباً تاريخ تطور هذه الأفكار ، بما يوازي تقدم المعدات والأرصاد التي أتاحتها هذه المعدات .

الشمس كوكب وسط ـ أن تكون الشمس نجمة شبيهة بالنجوم الأخرى ، يمكن تصوره بنوع من اليقين الكمي ، حالما تعرف المسافات ، أي البهرة المطلقة ، لبعض من هذه الكواكب الأخرى . أما المعرفة المفصّلة بقشراتها الخارجية ، فهي كبيرة منذ سنة 1900 . وليست الوقائع هي التي تنقصنا هنا ، ولا الخيط الموصل الذي يتيح الربط فيما بين ظاهرات مرصودة على حدة ، ثم أيضاً ربط حالة الشمس بحالة الكواكب الأخرى .

ولكن ، في سنة 1905 فكّر أ . هرتز سبرونغ لأول مرة ، في وضع خط بياني يبين العلاقة بين النمط الطيفي (وبوجه عام درجة الحرارة السطحية) من الكواكب وبين لمعانها المطلق . وظهرت الشمس في هذا الخط البياني في وسط المنطقة الأكثر غنىً وكثافة ، منطقة الأقزام من النمط G ، ذات درجة الحرارة المتوسطة ، وذات اللمعان المطلق الوسط ، وربما ذات العمر الوسط . وفي هذا يكمن شرط ضروري على الاقل لشرعية فرضية العمل القائلة بأن ما لوحظ حول الشمس يلاحظ أيضاً حول كواكب أخرى إذا سمحت بذلك الوسائل المادية . وفي نفس الحقبة ولدت نظريات تتعلق بالبنية الداخلية للكواكب ، وارتدت هذه النظريات مظهر الظاهرات في الطبقات الخارجية ، المرئية وحدها ، والقابلة للملاحظة بصورة تفصيلية من قبلنا حول كوكب واحد هو الشمس . إن أهمية دراسة هذا الكوكب الوسط القريب من الأرض هي بعد ذلك أكيدة .

في سنة 1906 أشار ك . شوارتزشيلد (1873 - 1916) إلى الشرط الذي بموجبه تتحقق التحركات الحرارية Convectifs داخل كوكب ما وطرح ـ دونما حل ـ مسألة التعرف الكمي على الحبحبة granulation الكروية الضوئية عند الظهور العياني للظاهرات الحرارية Convectifs داخل الشمس .

وبعد ذلك بخمسين سنة ، لم تلق المسألة جواباً مرضياً بشكل كامل . وعلى الصعيد النظري ، نشر آ . ارينغتون (1882 - 1944) سنة 1926 أعماله حول باطن الكواكب ضمن فرضية التوازن الاشعاعي ـ نقل الطاقة بفعل الاشعاع وليس بفعل تحرر [من حرارة] المادة ـ وانطلاقاً من سنة 1930 ، عاد آ . انسولد Unsold والمدرسة الالمانية إلى المسألة من أجل احتساب التحرر والاشعاع بآنٍ واحد .

ومع ذلك ، إن التقدم الحديث في ارصاد سطح الشمس النير (الفوتوسفير) (Photosphère)

لم يفسر أو يشرح الفارق بين الواقع والتفسير النظري ، وأكثر من ذلك ، ظهرت ظاهرات ديناميكية جديدة ، لم تيسر أو تسهل هذا التأويل .

ولكن الانجازات الجديدة في معرفة الشمس ، تحققت بفضل تطوير المعدات والآلات .

وكان القياس الأول من حيث التاريخ هو قياس الحقول المغناطيسية في البقع الشمسية من قبل ج . أ . هال سنة 1908 . لا شك إن هذا القياس لم تكن له انعكاسات كبرى مباشرة . ولكنه شكل منطلقاً لنظرة اجمالية احتلت مكانة من الدرجة الأولى : منذ أن استطاع ـ بفضل التقدم التقني المتنوع ـ هـ . د . بابكوك Babcock ، وهـ . و . بابكوك في بامادينا ، وآ . ب . سيفرني Severny من مرصد جزيرة القرم ، وابتداء من سنة 1952 ، قياس الحقول الضعيفة والمحدودة المكان ، وقد أمكنت معالجة الحقل المغناطيسي الشمسي ، في أقسامه الأكثر ثباتاً أو المتقلبة ، وكذلك معالجة هيكلية غالبية الظاهرات التي تعتري الطبقات الخارجية في الشمس .

والقياس الثاني هو الرصد الذي قام به ب . ليوت Lyot (1897 - 1952) للتاج الشمسي بدون كسوف كامل وذلك بفضل قيامه سنة 1930 بوضع « المسجل التاجي » (Coronographe) المستعمل في مرصد ارتفاعي (قمة ـ الوسط Pic-du-Midi) من أجل تفادي الانتشار الفضائي . ان تزايد عدد الخطوط المرصودة ، ودراسة جوانبها وتغيراتها النسبية ، وكذلك التقدم في حقل المطيافية النظرية أوصلت ب . ادلن Edlén سنة 1941 إلى كشف طبيعة هذه الخطوط بأنها تعزى إلى ذرات ـ من حديد خاصة ـ شديدة التأين . ان المجمل المتضخم بشكل كبير في المعطيات قد أتاح ، بعد ذلك ، رؤية وسط ـ في التاج ـ ذي أهمية بالغة سواء بالنسبة إلى فهم التحول نحو الخارج ـ الحاصل في الاشعاع الشمسي ـ أم باعتبار هذا الوسط كعينة مادة ضمن ظروف استثنائية .

وإلى ب . ليوت أيضاً يعود الفضل في انه وضع سنة 1943 المصفاة الوحيدة اللون والمكثفة والتي سوف تتيح ـ بفضل التصوير السينمائي للظاهرات التلوينية الكروية والتاجية ـ انتشار افكار كانت يومئذ ما تزال مصنفة بشكل غير كامل لأنها كانت جديدة ، وان كانت بكل تأكيد متناهية الخصب .

وهناك حدث آخر حاسم ـ وان كان متوقعاً إلى حد ما ، ظهر في الواقع ، هو أيضاً بسبب ادخال تقنيات جديدة ـ هو اكتشاف الاشعاع البث كهربائي للشمس ، في سنة 1942 ، من قبل ج . س . هاي وف . ج . م ستراتون (1881 - 1960) . انه عقب الحرب العالمية الثانية بشكل خاص استطاع البث الكواكبي أن يمتد ويتسع بشكل ضخم خاصة فيما يتعلق بالشمس ، حيث شكلت الدراسة ، على مختلف الموجات ، سبراً حقيقياً لعمق التاج .

وأتاحت انجازات تقنية أخرى ، وبصورة منهجية ، استكشاف الطيف الشمسي بشكل واسع من جهة الموجات القصيرة جداً . وفي 10 تشرين الأول 1946 ، حمل صاروخ من نوع V_2 ، أطلق من وايت ساندس (في نيومكسيكو) ، ولأول مرة آلة تصوير طيفية فوق طبقات فضائية ماصة للأشعة فوق البنفسجية . وبعدها أخذت البحوث تتسع بشكل ملحوظ ، وأصبح بالامكان معرفة تفاصيل الطيف الشمسي فوق البنفسجي حتى التحامه بأشعة X وأشعة γ (غاما) .

ولكن إذا كانت المعارف حول الشمس قد اغتنت بشكل ضخم ، وبكل الاتجاهات بتفاصيل شكلانية ، وظاهرات فيزيائية وتطورها في الزمن ، والامتداد الضخم في سلم التواترات الكهرمغناطيسية المدروسة ـ فأيّ شيء ، في هذه المكتسبات الجديدة ، لم يكن يوحي بأن الشمس تختلف عن الكواكب الأخرى . وبقي مقبولاً القول بأنها تصلح أيضاً كمعارف حول الكواكب الأخرى ذات الصفات العامة المماثلة كمياً لصفات الشمس .

الشمس ، مصدر قريب . العلاقات بين الظاهرات الشمسية والارضية ـ ان البشرية ، المتعودة على العيش في حقل الاشعاع الشمسي المصفى بفعل الفضاء الارضي ، قد استطاعت أن تعتبر الشمس كمصدر للطاقة ثابت وكامل . إن وجود البقع ، التي تختلف أهميتها بخلال الدورة اللاعشرية (undécennal) التي عرفت في القرن التاسع عشر ، كذب هذه الثبوتية ، والتقريب الذي حصل سنة 1851 ، بين هذا التغير وبين تغير الذبذبات اليومية diurnes لميل الحقل المغناطيسي الارضي ، أظهر وأبرز المثل الأول للعلاقة بين الظاهرات الشمسية والارضية .

ان هذه العلاقة ، التي وسعها في سنة 1903 أ . و . موندر Maunder (1851-1928) بعد أ . مارشان فأشملها حالة العواصف المغناطيسية المرتبطة بوجود بقع في موقع ليس ببعيد عن خط الهاجرة المركزي من الشمس ، أدت إلى فكرة « الانفجار الشمسي » المقترن ببث جسيمات تصل إلى الارض في نهاية يوم تقريباً .

ومنذ نفس الحقبة ، أوحت ظاهرة أرضية أخرى ، هي الفجر القطبي ؛ بفكرة ان هذا الفجر قد يترجم وصول هذه الجسيمات إلى الطبقات العليا من الفضاء ، عند وجود حقل مغناطيسي أرضي . وقد كان من المغري أن نحاول استحداث شبيهها بواسطة حَرْفِ « الأشعة الكاتودية » ـ المكتشفة حديثاً ـ ضمن حقل مغناطيسي كروي يصور الأرض ؛ فكانت تجارب « التريلا » Terella التي قام بهاك . بيركلاند Birkeland (1867-1917) حوالي سنة 1910 ، وتبعتها أعمال طويلة رصدية وحسابية قام بها ش . ستورمر (1874-1957) . ومع ذلك ، بقي كل ذلك ولمدة طويلة في حالة الفرضية المغرية .

وكانت الرسيمة بعد ذلك قد وضعت ، والجسم الواسع للعقيدة التي تكاملت بعد ذلك ، احتفظ بهذه الرسيمة ، اذ ـ وهذا حدث ملحوظ ـ إن كل تقدم تقني ، حتى ضمن سبل جديدة للغاية ، أعطى في هذا المجال معطيات يتزايد وضوحها ، جاءت تندس في هذه الرسيمة البدائية .

وعلى مستوى الشمس ، اثبت تعميم الاستعمال ، منذ بداية القرن ، وبتحريض من ج . أ . هال (1868-1938) ومن هـ . ديلاندر Deslandres (1853-1948) للمطياف الشمسي Spectro- hélio-graphe القسم الابصاري من الانفجار . وتوسيع الأرصاد ، منذ 1938 ، بواسطة الكورونوغراف coronographe ، كورونوغراف ليوت Lyot أظهر معاكسة داخل التاج ، والاستعمال المنهجي ، للمصور الوحيد اللون ، الذي وضعه ليوت أيضاً ، ابتداءً من سنة 1950 كثّر عدد الانفجارات المرصودة ، في حين أثبتت المسجلات المغناطيسية magnétographes الدور الأوّلي الذي تلعبه الحقول المغناطيسية الكامنة . ثمّ ، ابتداء من سنة 1945 أظهر استكشاف البث

الاشعاعي الكهربائي الصادر عن الشمس أنواعاً كثيرة من الظاهرات الدالة على مرور الأشعة في التاج ، سواء كانت كهرمغناطيسية أو جسيمية بعد صدورها عن الوجه المرئي للشمس photosphère أو عن الكروموسفير Chromosphère (طبقة غازية تحيط بالشمس) مارة بالتاج قبل انتشارها في الفضاء ما بين الكواكب .

ولكن ، بالمقابل ، تطورت المعرفة بالآثار الأرضية بشكل حاسم .

فمنذ 1972، لاحظ موجل Mogel ، تلاشيات مفاجئة متكررة تصيب انتشار الموجات القصيرة ، وأشار إلى علاقتها بالاضطرابات المغناطيسية ، وفي 30 آب 1935 ، ولأول مرة ، أشار ريشاردسون في مرصد ويلسون إلى التناوب بين مثل هذا التلاشي ، وبين الانفجار الشمسي . وتثبت الحدث ودرس فيما بعد ، مع علاقته بخصائص اليونوسفير Ionosphère ، من قبل العديد من المؤلفين ، ومنهم ر . جووست ور . بورو في فرنسا ، ولكن الفترة الوجيزة بين الانفجار الشمسي والأثر التأييني الكروي (الاينوسفيري) يدل على مفعول يتم بفعل الاشعاع الكهرمغناطيسي ، لا الجسيمي . وحدها الاشعاعات فوق البنفسجية ذات الموجة القصيرة يمكن أن تحدث تغييرات في تأيين الفضاء الأعلى تعتبر مسؤولة عن الشذوذات في الانتشار : إن الطبقات الأكثر انخفاضاً في الفضاء توقف تماماً مثل هذه الاشعاعات ، مما أدى ، ولفترة ما تزال قائمة ، إلى المناداة بوجودها سنداً لأسباب جديدة .

وحوالي نفس الحقبة ، تم الحصول على الاشارات الأولى الدالة على تلطيف الدفق الجسيمي ، بفعل الظاهرات الشمسية وذلك بفضل تسجيلات الاشعاع الكوني التي بفضلها سجل ر . فوربوش « انخفاضات baisses » مرتبطة بالعواصف المغناطيسية ، في هذه الأثناء ، وفي بعض المناسبات ، رصدت زيادات عنيفة وكذلك رصدت انفجارات شمسية ، وكان القياس الذي قام به مينل سنة 1950 أكثر مباشرة وأكثر دقة ، والذي تناول السرعة الاشعاعية للبروتونات المسؤولة عن بث خيوط الهيدروجين في الفجر القطبي .

وأخيراً ، استخدمت الصواريخ والاقمار الصناعية والمركبات الفضائية ، منذ وضعها في الاستعمال ، وإلى حد بعيد لدراسة الاشعاع الشمسي المتوقف بفعل الفضاء الارضي أو لدراسة خصائص الوسط ما بين الكواكب المتنوعة البعد عن الأرض . وهناك تاريخان يستحقان الذكر ـ الأول : في 13 آذار 1959 أعطى صاروخ أول صورة للشمس من خلال الاشعاع فوق البنفسجي ليمان الفا (Lyman ∝) المعتبر من زمن بعيد مسؤولاً عن تأيين الفضاء الأعلى الارضي ؛ والثاني في 20 آب 1959 ، ولأول مرة قدم قمر صناعي (اكسبلورر VI) قياسات مكانية in Situ لاجتياز غيمة من الجسيمات المبثوثة أثناء انفجار شمسي .

إن هذه النتائج كلها قد أضافت الكثير إلى التماسك القائم بين الأرصاد ذات الانماط المختلفة والمتعلقة بالعلاقات بين الظاهرات الشمسية والارضية ويمكن ، بدون شك ـ في سنة 1963 ـ اعتبار المجهول كامناً في اطلاق ظاهرات فوق الشمس ، أكثر من كونه في تطور الانعكاسات البعيدة لهذه الظاهرات .

ولكن ، إن كـل ما تقـدم يتعلق بصورة أسـاسية بـظاهرات عـرضية تحـدث ضمن سلّم زمني يتراوح بين عدة دقائق وعدة ساعات فوق الشمس ، أو عدة أيام بالنسبة إلى الانعكاسـات الأرضية . وقد أمكن بسهولة اكتشاف تكرار حقبة تساوي مدة الدوران الظاهرية للشمس (27 يـوماً) في ظهـور بعض هذه الظواهر ، المرتبطة بفكرة « المركز الناشط » فوق سطح الشمس ، أي وجود منطقة يؤدي مرورها الدوري بمركز القرص إلى زيادة احتمال ظهور ظاهرات أرضية سبقت الإشارة إليها أعلاه .

وأخيراً ماذا حصل للأفكار التي ارتقبت في القرن الماضي ، حول التقلبات ذات الامد البعيد والحاصلة في التأثيـرات الشمسية ؟ من المؤكـد ان هذه التقلبـات تنبثق عن التقلبـات التي تصيب المراكز الناشطة ، وعن عددها بخـلال الدورة الـلاعشريـة undécennal . وهكذا نعـود إلى الفكرة التي قال بها ر . وولف Wolf ، مع العدد الذي يحمل اسمه والذي حدد اصطلاحـاً ، سنداً للعـدد وسنداً لامتداد البقع المرئية . ولكن من البارز ان البقع ، وهي الدلائل الوحيدة التي تنم عن مراكـز النشاط المعروفة منذ مئـة سنة ، ليست إلى حـد بعيد مـظاهرهـا الاكثر دلالـة ، وانه بسبب انعـدام المؤشر الاكثر وثوقاً ، والاكثر بساطة ، ما نزال نستعمل « عدد وولف » nombre de Wolf .

ولكن جـرى البحث عن كثرة كثيـرة من الارتباطـات بين هذا العـدد (عدد وولف) وكميـات متدخلة في الظاهرة الجيوفيزيائية ، الفيزيائية الكيميائية ، أو البيولوجية الأكثر تنـوعاً ، وأي من هـذه الارتباطات ، حتى الأكثر وضوحاً منها ـ وكلها ليست واضحة ـ لم يبـرز ظاهـرة ذات ضخامـة . ولا يمكن الانـدهاش من ذلـك ، بعد أن عُـرِفَ ان مفعول الشمس يتم بـاشعاعـات كهرمغنـاطيسيـة أو جسيمية لا تبلغ القشرات الفضائية السفلى حيث تجري الظاهرات المدروسـة ؛ ان الانعكاسـات ـ التي لا يمكن استبعادها بصورة مسبقة ـ في هـذه القشرات هي بالضرورة ملطفة أو منمنمة من حيث الضخامة ، وممتدة في الزمن .

إن تاريخ هذه البحوث يكون ناقصـاً إذا لم نُشر إنهـا ، من حيث تطلبهـا لاستمراريـة الرصـد والمراقبة ، كانت من بين البحوث التي ساهمت أكثر في خلق تعـاون علمي دولي . منذ سنـة 1904 أنشـأ ج . أ . هال « الاتحـاد الشمسي الدولي » ، الـذي أصبح في سنـة 1919 الاتحـاد الكـواكبي الـدولي . في سنة 1925 شكـل المجلس الدولي لـلاتحادات العلميـة ، زيـادة على ذلـك ، لجنـة مختلفة خاصة من أجل درس هذه المسائل . وأخيراً تقـرر ـ بالنسبـة إلى الفترة من أول تمـوز 1957 حتى 30 كـانـون أول 1958 ، من أجـل التغـطيـة القصـوى للنشـاط الشمسي ـ ، تـنظيم « السنـة الجيوفيزيائية » . ان نتائج هـذا المؤتمر كـانت في مجال العـلاقات بين الشمس والارض بحيث تم تمديدها لمدة سنة ، وانها انبثق عنها لجنة دولية جيوفيزيائية غير محددة المدة ، وقـد انبثق عن هذه اللجنة مبادرات من أولاها اقامة « السنة الدولية للشمس الهادئة » ، في حقبة تدني النشـاط الشمسي بين 1964 و 1965 ، وبخـلالها يؤمـل تحديـد أفضل لمفـاعيل مـراكز النشـاط النـادرة التي يمكن أن تعرض مستقبلاً .

2 ـ النظام الشمسي

الجرد والأبعاد ـ كان النظام الشمسي هو المجال المفضل بالنسبـة إلى الميكانيـك السماوي

في القرن التاسع عشر ، ويمكن اعتباره في سنة 1900 معـروفاً تمـاماً فيمـا يتعلق بحركـات الأجسام التي تؤلفه ، وفيما يتعلق بجدول هذه الأجسام بالـذات . ان بعض المراحـل التاريخيـة تستحق مع ذلك الاشارة .

فالكواكب التي اكتشفت في النظام الشمسي بخلال نصف قـرن ـ بعد استبعـاد المذنبـات التي يفد منها عدد كل سنة ـ تصنف ضمن ثلاث فئات . وأكثرها عدداً هي فئة الكواكب الصغيـرة : وقد صنِّف منها 449 كوكباً سنة 1900 و 1647 كوكباً سنة 1960 . ولا شيء هنـا يمكن ان يثير الـدهشة نظراً لتحسين التقنيات الفوتوغرافية ؛ ولا شيء أيضاً يقدم تغييراً كبيراً حول الافكار المقررة .

وربما كانت التـابعات الجـديدة المكتشفـة حول بعض الكـواكب ، أكثر أهميـة بالنسبـة إلى النظريات الكونية التكوينية : فهناك أولاً التابعات البعيدة عن المشتري : فالسادس والسابع اكتشف سنة 1904 وسنة 1905 من قبل ك . د . برِّين ، والثـامن اكتشف سنة 1908 من قبـل ب . ج . ملوت Melotte والاربعة المكتشفة من قبل س . ب . نيكولسون Nicholoson سنة 1914 و 1938 (العاشر والحادي عشر) وفي سنة 1951 . ثمّ ، التابعات التي اكتشفها ج . ب . كـويبر Kuiper سنـة 1948 و 1949 ، وخامس تابع لاورانوس ، المسمى ميراندا ، هـو أقرب إلى الكـوكب من الاربعة الســابقة المعروفة ، والتابع الثاني لنبتون ، المسمى « نيريد » ، أبعد بكثير من « تريتون » .

وأخيـراً ، اكتشف في سنة 1930 الكـوكب الفريـد من نوعـه ، الكـوكب الأبعـد من نبتـون ، المبحوث عنه بالحاح ، والمتنبأ به كثيراً في كل نقطة من فلك البروج ، من قبـل ك . و . طومبـوغ Tombaugh ، وقد سمي بلوتون ؛ وكان اكتشافه نتيجة بسيطة « للدوريات » الفوتوغرافية المنظمة ، الامر الذي أوصل الحدود الخـارجية للنـظام الشمسي إلى ما يعـادل أربعين ضعفاً ، لشعـاع المدار الأرضي .

وقد بذلـت جهود حثيثة من أجل تحسين المعرفـة بالابعـاد المطلقـة للنظام الشمسي (يـراجع بهـذا الموضـوع دراسة ج . ليڤي ، الفقـرة الســابقـة) . وقـد أدى الاستعمـال الحـديث للتقنيـات الاشعاعية الكهربائية (راديو الكتريك) إلى تقدم ضخم في مجال الدقة . ويجب القـول أن الأمر لا يتعلق اطلاقاً ببذل جهد من أجل غاية نظريـة : فبعد ذلـك أصبحت الضرورة ملحـة لوجـود خارطـة للنظام الشمسي ، دقيقة ما امكن بالكيلومترات ، من أجـل اعداد ومن أجـل توجيـه المسارات عبـر الكواكب كما كانت الحال فيما يتعلق بالخارطة البحرية بالنسبة إلى البحارة في القرن الأخير .

ولكن الاندفاعة الكبرى ـ التي انطلقت ، في أواخر القرن التاسـع عشر ، والتي تبـاطأت في النصف الأول من القـرن العشرين ، والتي نمت ، منـذ حلول عصـر الفضـاء ، بقـوة لم يسبق لهـا مثيل ـ هي الاندفاعة التي توجهت نحو معرفة الكواكب فيزيائياً .

فيـزيـاء الكـواكب ـ هنـا لا تعـطى كلمـة « فيـزيـاء » المعنى الضيق الــذي يعـطى لهــا في المختبر أو في التعليم بل تعـطى معنى أوسع : مـا هي طبيعة الكـواكب ، مما هي مصنـوعة وكيف صنعت . ويمكن أيضاً إضافة سؤال : ماذا يجري فيها ؟ لأن الاهتمام بهذه المواد منذ مئـة سنة ـ

وهذا ما يجب ذكره ـ كان موضوع آمال ، محققة أو غير محققة ، في العثور في الكواكب على عوامل شبيهة إلى حدٍ ما بعوامل الأرض ، وفي التحليل الأخير ، أمكانية الإجابة على السؤال الكبير حول « تعددية العوالم المأهولة » .

لا شك في هذا الشأن ان الاعلان الذي صدر سنة 1877 عن ج . ف . شياپارلّي بأن اكتشافه قنوات في المريخ ، في كل مقتضياته ، كان حافزاً استثنائياً بالنسبة إلى الارصاد الكواكبية ، ولكن المسعى قد خف فيما بعد نظراً لانعدام الآمال المتوقعة ، وان تقدم علم الفلك في النجوم السيارة (Planétaire) وان بدا محرزاً ، لم يكن مشابهاً ، لا في الحجم ولا في العمق ، للتقدم المحرز في علم الفلك النجومي (Stellaire) . ولكن ما ان سنحت فرصة الاستكشاف المباشر في مستقبل قريب بشكل معقول ، حتى صعد الطلب بشكل عامودي : ان كل المعلومات التي يمكن أن تؤمنها الارصاد الأرضية لن تكون كافية من أجل التحضير للرحلات المستقبلية .

وكانت استنتاجات شياپارلي موضوع جدل فلم تشر لحسن الحظ الا النقاش ، والا الارصاد الجديدة ، وبرز الرهان مهماً لدرجة انه استدعى انشاء مراصد خاصة ، كما خصصت للبحوث الكواكبية ـ بعد توسيعها لتشمل عطارد والزهرة وخاصة المشتري وزحل ـ بعض من أكبر الآلات الموجودة . وهكذا أقام پ . لويل في فلاغستاف (اريزونا ـ الولايات المتحدة) ، كاسراً للأشعة قطره 61 سنتم ، واستخدم أ . أ . بارنار كواسر ذات 91 سنتم في مرصد ليك (كاليفورنيا ـ الولايات المتحدة) وذات 102 سنتم في مرصد يركس (ويسكونسن ـ الولايات المتحدة) وأ . م . انطونيادي ذات 83 سنتم في مرصد مودون Meudon .

إلا أن هذه الأعمال تناولت الطوبوغرافيا التفصيلية ، وتغيراتها أكثر ممّا تناولت تحديد ماهية المواد التي تتألف منها الفضاءات ، أو سطوح الكواكب . انه ابتداء من 1900 حصل و . م . سيلفر ، في مرصد لويل على أطياف كواكب ، ولكن متابعته الطويلة ، في هذا المجال ، لم تكشف له عن أية خصوصية قابلة للتعريف في أطياف عطارد والزهرة والمريخ ، وبالعكس من ذلك ظهرت في أطياف المشتري وزحل وأورانوس ونبتون أحزمة امتصاص متميزة جداً ، انما مجهولة المنشأ حتى سنة 1930 .

وإنه في سنة 1931 ، استطاع ر . ويلدت ، بعد ارتكازه على نتائج جديدة مختبرية ، ان يبين انها مكونة أساساً من الامونياك ومن الميتان ، وفي نفس الحقبة اكتشف و . س . أدامس وت . دونهام في مرصد جبل ويلسون أحزمة من غاز الكربون في فضاء الزهرة . وأثبت تقدّم هذه البحوث الطيفية الرصدية ، وخاصّة توسيعها لتصل إلى ما يقارب تحت الأحمر من قبل ج . پ . كيپر بعد الحرب العالمية الثانية ، النتائج الحاصلة وخصّص لمكونات الفضاءات الكواكبية من هذا الغاز أو ذاك ـ بعد العجز عن اكتشافها ـ حدوداً عليا . وإذا كان البحث فوق المريخ عن الكلوروفيل قد فشل ، فيجب على كل حال ذكر اكتشاف الأحزمة تحت الحمراء المميزة للجذر CH في الخلايا العضوية من قبل و . ستون Sinton سنة 1959 .

ولكن هناك سبيل آخر خصبٌ للغاية قد فتحه ب . ليوت عندما وضع سنة 1923 بولاريمتراً

Polarimètre شديد الحساسية ، يستطيع أن يدرس تغير استقطاب الضوء المبثوث تبعاً لزاوية الرؤية ، سواء فيما خص السطوح الكواكبية أم فيما خص المواد الأرضية المختلفة ، وبالتالي ان يجري مقاربات ومقارنات . ان استخدام هذه التقنية ـ يضاف إليها البحث عن ظروف لتعريف أفضل للصورة ، البحث المتقدم جداً الذي قدمه ب . ليوت ابتداء من سنة 1941 ـ قدم لدلفوس (A. Dollfus) نتائج عدة ومفصلة حول المريخ ، وقدم سنة 1950 تخميناً لفضاء عطارد بمعدل ثلاثة على ألف من فضاء الأرض .

وبآنٍ معاً عملت الأرصاد الطيفية والاستقطابية القياسية على تقديم تقديرات للكثافات الفضائية والحرارية السطحية . وكانت النتائج شبه متناسقة فيما خص المريخ ، ولكنها كانت غير مؤكدة بالنسبة إلى عطارد ، والزهرة ، والمشتري (جوبيتر) وزحل . ان قياسات الاشعاع الكهربائية اللاسلكية لم تكن الا لتزيد الخلافات عندما لا تكشف عن بث خاصٍ بها غير حراري ، وغير مفسر حتى ذلك الحين (المشتري ، 1957) .

وبالطبع ، تنامت وتطورت فرضيات جديدة حول تشكل النظام الشمسي ، تبعاً لما حقّقه وانجزهُ كل من علم الفلك والفيزياء . ان النظريات المرتكزة على التصادمات ، والتي ما زالت يومئذ يدافع عنها ج . جينس J. Jeans قد فقدت من قيمتها لصالح النظريات التي تتخيل ـ بشكل أكثر مصادقة من الماضي ـ تجمد الكواكب انطلاقاً من مادة مبثوثة منتشرة ، مثل النظريات التي اقترحها سنة 1943 . ك . ف . ڤون ويزساكر ، وسنة 1948 و . شميدت (يراجع بهذا الشأن ب . كوديرCouderc ، الفقرة XIV من هذا الفصل) .

تلك كانت هي الحالة عندما أطلقت أول مركبة فضائية « ڤينوسيك « Venusik مخصصة لدراسة الكواكب عن قرب في 12 شباط 1961 . ويمكن التأكيد بأن السنوات المقبلة سوف ترى ـ بفضل تكونولوجيا قوية ، هي قيد الاعداد ـ الحل المباشر وبدون فرضية لبعض الاحاجي التي شغلت أجيالاً من الفلكيين المتشبثين بالارض .

3 ـ القمر

وما يصح فيما خص الاهتمام بالبحوث الكوكبية يصلح أكثر بالنسبة إلى القمر . فقد درس القمر بشكل كامل في القرن التاسع عشر فيما يتعلق بحركاته ، ورُصِدَ بشكل كافٍ في تفصيلاته من أجل تبرير القناعة إن لا شيء يجري على أرضه . وانه ليس بالامكان أخذ الشيء الكثير منه مما يصلح لأن يعمم على بقية المسائل ، فبقي (أي القمر) لمدة طويلة أحد الكواكب المهملة عند الفلكيين . والمشروع الوحيد الكبير الذي كان هو موضوعه ـ إلى حين حصول التطورات الاحدث ـ هو وضع « الاطلس الفوتوغرافي » الذي انجز بين سنة 1890 و 1910 من قبل م . لووِّي Loewy وپ . بويزو Puiseux P. . وكان عملاً جليلاً ، ولكنه لم يستخدم لاحقاً بما يعادل الجهود المبذولة من أجله . والاكتشاف الوحيد المرموق فيما خص سطح القمر ، هو الاكتشاف الذي حققه ب . اليوت سنة 1926 بتعيين منحناه الاستقطابي وتماهيه مع المنحنى الاستقطابي للرماد البركاني .

ولكن سريعاً عقب الحرب العالمية الثانية ، اتضح انه في الوشيك العاجل ، لا بد من بلوغ

القمر ، وكان في هذا تغيير حاسم في الوضع . فقد انصرف الفلكيون ، والكيميائيون ، والجيولوجيون ، وواضعو الخارطات لمعالجة المسألة من بعد مختلف تماماً عن البعد الذي ترتديه المسائل الأخرى الفلكية ، مع وضوح الفكرة الرامية إلى البحث عن معرفة ما يوجد على القمر عندما نلامسه ـ بفضل معدات لا تقاس بها أبداً المعدات التي خصصت حتى ذلك الحين في هذا المجال . وكذلك الحال بالنسبة إلى نشأة المدرجات والفوهات فوق سطح القمر ؛ أهي بركانية أم نيزكية ؟ ويبدا الميزان مائلاً ، اليوم ، نحو الفرضية الثانية .

وبذات الوقت ، تركز الاهتمام على بعض الأرصاد المهملة ، أو على الأرصاد التي قد تؤمنها تقنيات جديدة . ومن اختفاء أو احتجاب المصدر الاشعاعي الكهربائي لما يسمى بالكراب (Crabe) ، استُمدّ حدٌ أعلى منخفض إلى أقصى حد ـ واحد من أصل عشرة آلاف من أصل واحد على عشرة مليارات من فضائنا ـ من كثافة الفضاء القمري (1956) . ومن القياسات الاستقطابية (بولاريمترية) والراديو مترية لمختلف أطوال الموجات (وخاصة السنتيمترية والدسيمترية ابتداء من سنة 1959)، استمدت معلومات حول البنية الميكروسكوبية والماكروسكوبية [الكبرى] للسطح القمري . وتمت العودة إلى البحث عن لمعية التربة القمرية ، التي اثيرت سابقاً ، بنوع من الجدية . وأخيراً ، حدث حادث استثنائي ، فقد بيَّن رصدٌ مطيافي قام به ن . آ . كوزيرڤ ، لمعية غاز كربوني منبعث بشكل نفثة سرية عند مستوى قمة مركزية في الدائرة المسماة دائرة الفونس في 3 تشرين الثاني سنة 1958 : انه البرهان الأول الاكيد الحاصل فيما يتعلق بظاهرة ذات تطور سريع فوق القمر .

في هذا الوقت ، تحققت التوقعات : في سنة 1959 ، وفي الثاني من كانون الثاني ، قارب الصاروخ لونيك Lunik I القمر وأصبح أول قمر اصطناعي في النظام الشمسي ، بعد أن نقل قياسات اشعاعية بخلال كل مساره ، وحقلاً مغناطيسياً على محاذاة القمر ؛ وفي الثالث عشر من شهر أيلول ، لامس الصاروخ لونيك II ـ القمر ، وفي الرابع من تشرين الأول أطلق لونيك الثالث الذي التقط صوراً لوجه القمر غير المرئي من الارض ، ونقلها بعد عدة أيام إلى الارض . ولم تكن هذه الانجازات كلها الا بدايات . فالتجارب المعلنة فيما خص السنتين أو الثلاث سنوات اللاحقة ، إذا نجحت ، فإنها سوف تعرِّف على الاقل بجوار نقاط الهبوط ، بتفصيل يبلغ ما نعرفه عن بعض المناطق التي لم تكتشف تماماً من الارض . وعندها يمكن القول ان القمر لم يعد يدخل في عالم الفلكيين بل أصبح ضاحية من ضواحي الأرض .

VI ـ المطيافية أو السبكتروسكوبيا

إن اختراع التصوير الفوتوغرافي ، واستخدام المطاييف النجومية في أواخر القرن التاسع عشر قد أتاحا تحليل أطياف النجوم والمجرات .

وبصورة موجزة يمكن القول انه بحوالي سنة 1900 ، أصبح من المعروف ان لغالبية النجوم اطيافاً متتالية تزرعها خطوط امتصاص وان هذه الأطياف تشبه نوعاً ما طيف الشمس . وتحديد ماهية غالبية هذه الخطوط قام به علماء الفلك الذين يهتمون بالفيزياء الشمسية وقد بدأ نقل هذه

النتائج إلى علم المطيافية النجومية . وبدأ علماء الفلك بتصنيف الأطياف النجومية . وقد بدأ أيضاً قياس السرعات الاشعاعية النجومية ، واكتشاف الكواكب ذات الأطياف المزدوجة .

وأظهرت المجرات « الزرقاء » عن خطوط انبثاقية ؛ فقد اصطدم الفلكيون باستحالة تحديد هوية الخطوط الشهيرة المسمّاة « نبوليوم » وهذه المسألة ظلت تشغلهم طيلة عشرات السنين . ان أسس علم المطيافية النجومية كانت قد وضعت ولكن العمل بقي بدون اكمال . والنتائج الحاصلة منذ بداية هذا القرن كانت فخمة .

التصنيفات المطيافية ـ ومنذ الأرصاد الأولى التي قام بها سكشي Secchi (مجلد III) ، بدأ تصنيف الأطياف بالنسبة إلى العديد من النجوم . لقد لوحظ في بادىء الأمر ، انه إذا استثنينا بعض الحالات الخاصة ، فان مجمل الاطياف يمكن ان يصنف ضمن عدد صغير من الفئات . وحوالي سنة 1900 التقت التصنيفات المختلفة بصورة بطيئة . وتم الاتفاق على الاحتفاظ بالسلاسل الطيفية التي اقترحت سنة 1900 من قبل مس آ . ك . موري ومس آ . ج . كانون وذلك باعتماد الترميز الذي وضعته الأخيرة (راجع مجلد III) أي اللائحة الشهيرة الطيفية من انماط هارفارد التالية :

S
O B A F G K M
R N

إن نجاح هذا التصنيف متأت من كونه منظماً وفقاً لدرجات الحرارة المتنازلة . وقد ظهر هذا الحدث منذ ذلك الحين وتوضح بفعل تنوع ألوان الكواكب الزرقاء في بداية اللائحة ، والبيضاء بعدها ثم الحمراء في آخر اللائحة . ولكن هذه العلاقة بين النمط الطيفي ودرجة حرارة الجو ، لم تثبت إلا بعد ذلك بعشرين سنة عندما قام الفيزيائي مغ ناد ساها Megh Nad Saha فشرح الأطياف مطبقاً على الفضاءات النجومية قوانين التوازن الكيميائي ، بعد أن احتلت الذرات والالكترونات محل المركبات الكيميائية الكلاسيكية . ان المطياف ذا الشق هو آلة دقيقة ولكنها بطيئة . ومنذ بدايات علم المطيافية ثبت وجوب الحصول على آلة أخرى لامكان اجراء دراسة احصائية حول الاطياف النجومية . فكان ان وضع في الاستعمال الموشورات المهدافية في أواخر القرن الماضي ، الامر الذي فتح هذا الحقل من البحوث . ان هذه الادوات المكونة من موشورٍ ذي زاوية صغرى مركز مهداف فوتوغرافي ، تتيح الحصول على أطياف من العديد من النجوم التي يمكن تصنيفها على هذا الشكل . ان بعض الاعداد تدل على أهمية هذا العمل المنجز . ان كتلوغ هارفارد ، الذي نُشِرَ على شرف الفيزيائي هنري درابر والذي وزع ابتداءٍ من سنة 1918 ، احتوى مع ملحقاته ، على 172150 طيفاً[1] . ويمكن تقدير عدد الأطياف المصنّفة اليوم بأكثر من 000 700 .

---

(1) ان كتلوغ هنري درابر بالذات قد ظهر ضمن 9 مجلدات بين سنة 1918 وسنة 1924 . وقد تضمن 243000 طيفاً تعود إلى 225300 نجمة . ثم ظهرت 6 مجلدات ملحقات باسم هنري درابر ، ونشرت بين 1925 و 1936 ، وأعطت أطياف 46850 نجماً .

وقد أتاحت الدراسات الاحصائية العديدة توضيح توزيع النجوم وفقاً لانماط طيفية . وعلى هذا لوحظ إن النجوم O,B هي نادرة جداً وهي عملياً متجمعة قرب درب التبانة ، في حين ان نجوم نهاية السلسلة هي الاكثر شيوعاً وهي واقعة قرب القطب .

الخط البياني الذي وضعه هرتز سبرونغ ـ راسل ـ في حين كرس بعض الرصاد أنفسهم من أجل تصنيفات الأطياف ذات التشتت البسيط ، قام آخرون بدراسة الأطياف الأكثر تشتتاً وحققوا اكتشافات جديدة .

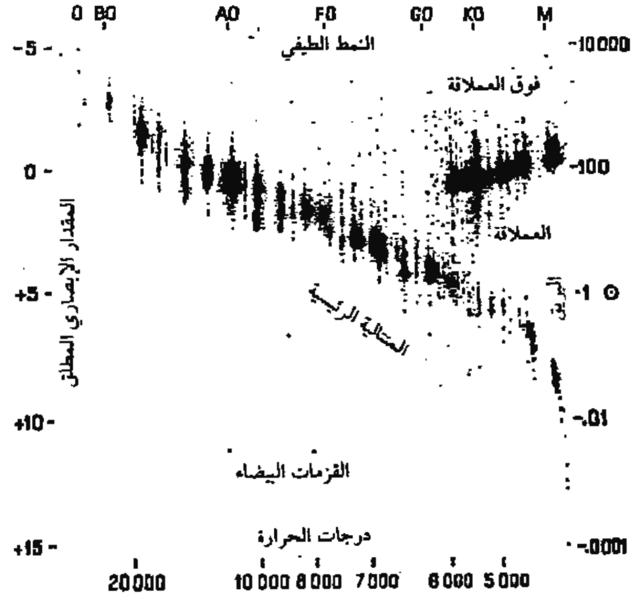
في سنة 1914 بيَّن و . س . أدامس وآ . كوهلشوتر وجود فروقات طيفية محسوسة بين النجوم ذات الحركات الذاتية الكبرى والصغرى . وبالنسبة إلى النجوم من النمط الأول ، كان الطيف أقل كثافة في البنفسجي . وبالمقابل ظهرت بعض الخطوط ، وخاصة خطوط الهيدروجين وبعض الخطوط المعدنية ، قوية في أطياف النجوم من النمط الثاني . وظهر في الحال ان الفرق يُفسر ، لا بقيمة الحركة الذاتية ، بل بكون النجوم ذات الحركة الكبرى الذاتية هي قريبة من الشمس في حين ان نجوم الطبقة الثانية هي بعيدة عن الشمس بوجه عام . وإذا كانت هذه النجوم الأخيرة تبدو لنا ذات بريق ظاهري واحد ، فذلك لإنها في الواقع أكثر بريقاً داخلياً من النجوم ذات الحركات الذاتية الكبرى . وبالتالي ، ظهر ان النجوم البراقة هي بذات الوقت أكثر ضخامة ، مما يبرر تسميتها « بالعملاقة » التي أطلقت عليها من قبل هرتز سبرونغ . أما الكواكب الأخرى أو « الاقزام » ونجوم السلسلة الرئيسية ، فهي فعلاً ذات حجم أصغر بكثير . ان العلاقة بين البريق الداخلي في النجوم ، ونسبة زخم بعض الخطوط المختارة بدقة بدت واضحة ، الأمر الذي مكن أدامس Adams سنة 1916 من استخدامها من أجل تحديد البريق الذاتي في النجوم ، ثم من أجل تحديد المسافة بين الكواكب وذلك بمقارنة البريق الذاتي بالبريق الظاهر . وهذه الطريقة التي عرفت بطريقة « المقارنات المطيافية » مكنت من تحديد مسافة الكواكب البعيدة بعدة آلاف من البارسيكات Parsecs ، في حين ان الطرق المثلثية أو التريغونومترية لا تتيح الوصول إلا إلى 200 بارسيكس . وقد بررت هذه الطريقة وفسرت بفضل نظرية ساها . وهذه النظرية تبين انه اذا كانت درجة حرارة الفضاء هي العنصر الحاسم في الطيفية ، فان الضغط في الفضاء ليس عديم الاثر على زخم الخطوط . ولكن هذا العنصر الأخير أقوى بآلاف المرات في النجوم الأقزام ، منه بالنسبة إلى النجوم العملاقة .

الواقع إنه إلى سنة 1905 و1907 ، يعود اكتشاف ـ من قبل الفلكي الدانماركي اجنار هرتز سبرونغ Hertzsprung ، في الطبقتين K,M ـ نمطين من النجوم ذات بريق مختلف تماماً بحيث سماها بالعملاقة وبالقزمة ، دون أن يلتفت إلى فرضية ما حول أحجامها المختلفة .

ومر هذا الاكتشاف غير الملحوظ في بادىء الأمر ، ثم تثبت سنة 1913 من قبل الفلكي الاميركي هـ . ن . راسل Russel الذي خطرت له فكرة وضع خط بياني صنف فوقه عدة مئات من النجوم ، واضعاً في الاحداثي الأفقي النمط الطيفي وفي الاحداثي العامودي الضخامة المطلقة أي البريق الذاتي .

ولاحظ أن غـالبية النجـوم تقع بشكـل محسوس فـوق خط معتـرض (diagonale) يبين وجـود علاقة محددة ، بالنسبة إليها ، بين الضخامتين المصنفتين : النمط الطيفي والبريق المطلق .

وتقع الشمس أيضاً فوق هذا المعترض . وبالمقـابل تقـع نجوم عـديدة من الأنمـاط الطيفيـة الأخيرة فوق خط أفقي بشكل محسـوس ، يعادل الضخامة المطلقة صفر . وهذه النجوم الأخيرة هي النجوم العملاقة ؛ أما النجـوم الواقعـة على المعترض فهي النجـوم القزمـة من السلسلة الرئيسيـة . وبدا دياغرام (هرتز سبرونغ ـ راسل) وكأنه أحد المكتسبات الكبرى في الفيزيـاء النجوميـة في هذا القرن . ان دياغرام هـ ـ ر قد استكمل بفضل اكتشاف نمطين جديدين من الكواكب .



صورة 30 ـ دياغرام هرتزسبرونغ ـ راسل : إن موقع كـل نجمة محـدّد في الاحداثي الأفقي بـدرجة حرارته السطحية (التي تتوافق مع لـونه المسيـطر) كما تتحـدد فوق الاحـداثي العامـودي ببريقهـا (ويتخذ بريق الشمس كـوحدة) أمـا النجوم الصفـراء والمستقرة فتشكـل المتتاليـة الرئيسيـة (عن ستروف Struve) .

في سنـة 1914 أشار أدامس إلى ان مـرافق سيريـوس يجب أن يكون نجمـاً أبيض حـاراً جـداً وليس أحمر ، وبارداً كما يدل عليه بريقه . وقد تأكد هذا الأمر بصورة نهائيـة بفضل نفس الفلكي ، وبواسطة أطياف تم الحصول عليها عن طريق تلسكوب جبل ولسن الكبير . ونحن نعرف الآن عـدة مئـات من النجوم من هـذا النمط . وربما كـانت نجومـاً شائعـة جدّاً في الكـون . ان مـادتهـا ثقيلة للغاية ، وهي نوع من تراكم النوى بدون فراغات فيما بينها ، وهي أثقل من المادة العادية بمئة ألف مرة . وتفسر النظريات الحـديثة هـذه « المادة المتقهقـرة » (بوز Bose وانشتين Einstein) . وتقـع

هـذه النجوم في الـزاوية السفلى اليسـرى من الديـاغرام ، ويُظن الآن وجودُ متتـالية كـاملة موازيـة للمتتالية الرئيسـية . ثم ان الدياغرام قد استكمل أيضاً من أعلى بعـدد ما من العمـلاقات الكبـرى ، من كـل الانماط الـطيفية ، مـا يقارب من الف مرة أكثر لمعـاناً من العمـلاقات البعيـدة . واقتضت تحسينات أخرى تفصيلية انشاء صنف « للأقزام الصغرى » وللعمالقات الصغرى ، كمـا خففت من البساطة الأساسية في دياغرام هـ ـ ر .

تـطور النجـوم ـ منـذ 1920 تحقق هـ . شـابلي Shapley من ان نجـوم الكتـل الـدوائريـة globulaires لم تكن كواكب عادية . فالكواكب الأكثر بريقاً هي نجوم حمراء ، ولكن ظهـر ان الأمر لا يتعلق بالعملاقة أو بالعملاقة العليا العادية لأنها لا تنتـظم في مكانهـا المعتاد داخـل دياغـرام هـ ـ ر .

وقد ثبت هذا بـوضوح أكبـر سنة 1952 ، عنـدما استـطاع آرب Arp ، وبوم Baum وسـانداج Sandage أن يرسموا ، بفضـل القياسـات الفوتـومتـريـة الدقيقـة جداً ، ديـاغرامـات هـ ـ ر المتعلّقة بـالكتل الـدوائريـة ، ولاحظوا انهـا ليس بينها الا تمـاثل ضعيف جـداً مع الـدياغـرام الكـلاسيكي المعتاد .

وبقي المعتـرض la diagonale ثـابتـاً ، ولكن القسم الأسفـل بقي صعب التحـديـد ، بسبب البريق الضعيف جداً في هذه النجوم ، في حين ان القسم الأعلى غير موجود . وبالمقـابل ، انضم فرعان في الزاوية العليا اليمنى ، وتطابقا هنا مع نجوم شابلي الحمراء . ان القسم الأعلى متصل ، وقرب هذه الثغرة تقع النجوم (R. R Lyrae) ر . ر . ليراي .

من نافـل القول ان هذا الاكتشاف قد حفز إلى أقصى درجة العلماء الفيزيـائيين النجوميين . في سنـة 1944 ، فـبر و . بـآد هـذا الحـدث مفتـرضـاً وجـود نمـطين من النجوم : « نجـوم الجمهور I » التي تقع على الـدياغـرام هـ ـ ر الكلاسيكي ، و« نـجـوم الجمهور II » التي تكـون دياغرام الكتل الدوائرية . وفتح نقاش مفيد للغاية ، في عدة مجلات ، وأدى في النهاية إلى نظريـة دقيقة جداً حول تطور النجـوم : ان الفرق الـرئيسي بين الجمهورين هـو العمر . فـالجمهور I هـو الأصغر عمراً ، والجمهور II هو الأكبر عمراً . وأتاحت نظريات طورها ، بشكل خـاص م . شوارتز شيلـد في الولايات المتحدة وف . هويل Hoyle في بـريطانيـا ، تبيين كيفية تبـاعد النجـوم الزرقـاء والشابة وبسـرعة أثنـاء تقدمهـا في السن ، عن المتتاليـة أو السلسلة الرئيسيـة لكي تستقر فـوق فرع العملاقات الحمراء ، الواقعة فوق دياغرام الكتل ، والنجوم الأقل ضخامـة ، في القسم الأسفل من الفرع تتطور بسرعة أقـل بكثير . وهكـذا نصل إلى تفسيـر الانتقال من ديـاغرام إلى آخـر ، ويمكن تعيين تاريخ الكتل من خلال موقع النجـوم في الديـاغرام هـ ـ ر . ان الاقـدم هي (M67) التي يبلغ عمرها عدة مليارات من السنين .

إن هـذه النظريـة ، وهي في أوج بنـائهـا ، مـا تـزال تحتـاج إلى الكثيـر من الشـرح ، ولكن نجاحاتها تبدو محسـوسة . ومن المحتمـل انها تمكن من فهم تكثف الكـواكب انطلاقـاً من المادة الموجودة بين الكواكب (كواكب ت . توري T. Taury) وربما تسمح أيضاً بتفسير التفكك النهائي

الذي يصيب النجوم فتتحول إلى « قزمات بيضاء » .

« خطوط النبوليوم » nébulium ـ ان الفحص البصري بواسطة المطياف قد أتاح اكتشاف بعض خطوط البث الكثيفة التي لا يمكن الحصول على معادل لها في المختبر . سنة 1864 ، اكتشف و . هوغينز Huggins الخطين الأكثر قوة في المجرات الواقعة ضمن الاخضر ، ذات أطوال الموجة البالغة 4969 و 5007 Å . ان هذا الاكتشاف أتْبِعَ سنة 1868 باكتشاف خط أصفر مجهول المنشأ ، في طيف الشمس ، ثم ، في سنة 1869 ، بالخط الاخضر (5003 Å) من التاج الشمسي . ولما كان من غير المستطاع عزوها إلى عناصر معروفة ، فقد اختُرع النبوليوم والهليوم والكورونيوم . وفي سنة 1895 استطاع و . رامسي أن يبين أن الهليوم موجود في الفضاء الأرضي ، وابتداء من سنة 1905 ، أمكن استخراج هذا الغاز من مصدر طبيعي .

وحفز هذا الاكتشاف الفلكيين والفيزيائيين في بحوثهم حول العنصرين الآخرين .

لنفحص ماذا يحدث بالنسبة إلى النبوليوم . فقد أتاحت قياسات أجريت تحديد أطوال الموجة بدقة بالغة . وقد ثبت ان الخطين يجب أن ينبثقا عن نفس الذرة . ودلت قياسات عرض الخطوط (ش . فابري Fabry وهـ . بويسّون Buisson) ان الذرة يجب أن تكون خفيفة ، وقد قدما ان وزنها الذري هو 3 ، مما يجعله بين الهيدروجين والهليوم . ولكن تتمة الاحداث دلت على عدم وجود أي مكان شاغر في هذا الموضع من تصنيف مندلييف وبقيت المسألة معلقة . زيادة على ذلك أشار راسل سنة 1919 إلى أن المرسل يجب أن يكون ذرة خفيفة توضع في ظروف غير قابلة للتحقيق في المختبر ، في فراغ متناهٍ ، حتى ليستحيل الحصول عليه في حيّز مغلق .

إن هذه المسألة لم تجد حلاً لها إلا ضمن نشرة اذاعها سنة 1928 ج . س . بوين Bowen . استند في بادىء الأمر على أعماله المطيافية الخاصة وكذلك على أعمال كروز Croze وميهول Mihul (1927) وآ . فولر Fowler ، فبين ان أفكار راسل كانت صحيحة وان الخط يأتي من التنقل بين حالات متنوعة في ذرة الاوكسجين المؤينة مرتين O^{++} . ولم يكن الأمر يتعلق بتنقلات مسموح بها عادة ، بل يعبور من حالة « فوق الاستقرار » (métastable) في الذرة O^{++} إلى حالة أخرى عادية . إن هذه الحالات فوق الاستقرار ، لم تفقد نشاطها الا بصورة بطيئة عن طريق بث عشوائي لخطوط ممنوعة . في المختبر ، تخرب صدمات ذرة ضد ذرة أخرى ، أو ضد جوانب الوعاء ، حالة فوق الاستقرار قبل البث العفوي : واذن فليس بالامكان ملاحظة الخطوط فيها . ولكن الرصد في فوق البنفسجي البعيد ، وبعض الحسابات النظرية أتاحت استباق طاقة هذه الحالات فوق الاستقرار . وهذا ما قام به بوين ، وأعلن في عمل شهير ليس فقط عن التعريف على خطين من خطوط النبوليوم التي عزاها إلى الاوكسجين المزدوج التأيينْ (O^{++}) ، بل أعلن أيضاً عن تعرفه على العديد من الخطوط الاخرى ، ومن بينها الخطوط الواقعة عند 6548 و 6584 انغشتروم التي استطاع عزوها إلى (N^{+}) ، كما عزا خطوط 3727-3729 إلى الاوكسجين المؤيّن (O^{+}) . وحلَّ بشكل كامل المسألة ؛ وأتاح له مقال نشر سنة 1935 تفسير الزخومات غير العادية المتجلية في بعض الخطوط .

ان الموت الذي أصاب النبوليوم تلاه بعد حوالي خمس عشرة سنة (1942) موت الكورونيوم

الذي حدد ب . ادلين خطوطه مع الخطوط المحظورة للذرات المعدنية الشديدة التأيين (Fe XIII, Fe XIV, Ni XIII ، الخ) .

وبينت هذه الدراسات عن تنسيق قوي في الكون . ولم يعثر على أي عنصر جديد ، انما تمكن الاشارة فقط إلى بعض الفيوضات غير الطبيعية من ذلك مثلاً غزارة التربة النادرة أو فيض التكنسيوم في بعض الكواكب الخاصة . ان النسبة بين النظيرين $^{13}C/^{12}C$ تبدو مختلفة جداً بالنسبة إلى بعض الكواكب المتفحمة وهذا الأمر يبدو ذا علاقة مع التفاعلات النووية في هذه الكواكب . وهكذا تبقى المطيافية اليوم أداة نافعة وضرورية لعلم الفلك . الواقع ان كل الفيزياء النجومية الحديثة قد انبثقت عن المطيافية .

VII ـ القياس التصويري أو الفوتومتريا والقياس التلويني أو الكولوريمتريا

1 ـ القياس التصويري النجومي

إن القياس التصويري الفلكي مهمته الأساسية قياس البريق النجومي أو الاضاءة التي تحدثها النجوم فوق صفحة عامودية بالنسبة إلى الأشعة . وهنا يكمن معطى أساسي بالنسبة إلى علم الفلك النجومي وبالنسبة إلى فيزياء النجوم . من البريق النجومي نستمد الزخم الضوئي للكواكب القريبة ذات المسافة المعروفة تماماً . وبالعكس نستخرج من البريق بعد الكواكب البعيدة (بعد الاخذ في الاعتبار ، عند اللزوم الامتصاص الذي يحدث في الفضاء) ، عندما يمكن تقدير الزخم ، بصورة تقريبية ، بفضل دراسة الخطوط الطيفية . ومن أجل هذه التطبيقات التي تحتمل أسباباً أخرى من اللايقين ، يكفي على العموم قياس البريق النجومي بمعدل عشرة بالمئة تقريباً ، ولكن الدقة الاكبر الممكنة يبحث عنها في دراسة بعض النجوم المتغيرة مثل القياسات التلوينية التي تتناول على الاقل منطقتين طيفيتين .

يقدر البريق النجومي E وفقاً للسلم اللوغاريتمي ذي المقادير m المحدد وفقاً لقانون وضعه بوغسون $m = -2,5 \log E + k$: Pogson حيث تكون k ثابتة تحدد قيمتها بصورة كيفية وذلك باسناد ضخامة محددة لنجمة تتخذ كمعيار . وفي النظام الابصاري المعتمد في هارفارد مثلاً فإنّ النجمة λ أورسي مينوريس Ursae Minoris المجاورة للقطب الشمالي السماوي أعطيت الضخامة 6,55 + . وهذا الاختيار ، كما العامل 2,5 – في معادلة بوغسون ، أتاح الحصول على مقادير تختلف قليلاً « عن المقادير » التي اعطاها الفلكيون الاقدمون إلى النجوم البراقة قبل أي قياس تصويري .

الطرق الرؤيوية ـ في مطلع القرن العشرين كانت القياسات تعتمد الرؤية بشكل حصري ، وتتم عن طريق مقارنة دقيقة ، فعندما كان يراد دراسة نجم متغير ، كانت تجري مقارنتها بنجمة ذات بريق ثابت مرئية بذات الوقت في حقل الآلة الراصدة . ولكن من أجل وضع كتلوغ بمقادير النور التي تشتمل على نجوم بعيدة عن بعضها البعض في كرة السماء ، كان من الواجب مقارنة كل واحدة منها بنجمة واحدة تتخذ مرجعاً ، أو تقارن بنجمة اصطناعية .

ان المقياس التصويري ذا الصورة المزدوجة الـذي صممه بيكيـرنغ Pickering (1879) يـلائم تماماً المقارنة بين نجمتين متجاورتين . وهو يحتوي قبل السطح البؤري في الشبحية ، على موشورٍ مزدوج التصوير يُعطي عن كل نجمة صورتين ذاتي اضاءة متعادلة ، مستقطبتين وفقاً لـزاوية قـائمة . ونقرب الصورة العادية لنجمةٍ ما إلى جـانب الصورة غيـر العاديـة للنجمة الأخـرى ، ثم نقارن بين بريقيهما بواسطة نيكول nicol موضـوع وراء المعيان Oculaire . ومن اجـل وضع الكتلوغ ، صمم بيكرنغ ، وفقاً لذات المبدأ ، جهازاً أكثر تعقيداً (المقياس الصوري الهـاجري) وبـواسطتـه تقارن تباعاً كل النجوم عندما تمر في خط الهاجرة بنجمة واحدة مجاورة للقـطب . ولما كـانت المسـافـات السمتية مختلفة ، فان الارصاد يجب أن تكون مصححة بعناية ، بمقدار الامتصاص الفضائي .

ان الكتلوغ الاكبـر التصـويـري القيـامي (القيـاس التصـويـري المعـدل ، في هـارفـارد ، وملحقه ، 1908) يحتوي على أكثر من 46 ألف نجمة ، وقـد وضع انـطلاقاً من أرصـاد اجريت في هارفارد ، وبالنسبة إلى نصف الكرة الجنوبي أجـريت في اريكيبا Aréquipa (راجـع مجلد III) . وقبـل ذلـك بـستين كـان مـولـر Muller وكمبف Kempf قـد انهيـا كتلوغ بـوتسـدام (Potsdamer Durchmusterung) المتعلق بـالنجـوم في نصف الكـرة الشمـالي الأكثـر بـريقـاً من المقـدار 7,5 . واستخدم المؤلفان الفوتومتر أو المقياس التصويري الكلاسيكي الذي وضعه زولنر Zollner سنة 1861 حيث قورنت كل نجمة بنجمة اصطناعية واحدة ، جرى تعديل بريقها بواسـطة مكثفات . وكـانت دقة هـذه الكتلوغات ضعيفـة : فالى جـانب الأخطاء المنهجيـة التي تتجاوز عشـر المقدار ، والتي تتعلق بالبريق وبلون النجوم ، تضاف اخطاء عارضة من نفس المقدار . ان دقـة العشر ، لا تتحقق فعـلاً ، أمـا الفروقـات التي تزيـد 50% فليست نادرة . وقـد حسنت الدقـة بعد ذلـك بفضل معـرفة أكثـر دقة للصعوبات التي تعترض القياس التصويري للمصادر النقطية التي تشاهد عبر الفضاء .

ان غالبية الاجهزة المستعملة فيما بعد لا تختلف عن الاجهزة السـابقة الا ببعض التحسينـات التقنية . ففي المقياس التصـويري العيني المسمى عين الهـر ، الذي وضعـه دانجون سنـة 1926 ، والذي يمثل نمطاً جديداً ، يقلّص بريق النجمـة الاكثر لمعـاناً بـواسطة ديـاغرام مـربع ذي مسـاحة متغيرة . ان هذا المقياس التصويري يتلاءم مع نفس التطبيقات المتلائمة مع مقيـاس بيكرنـغ ويتيح فضلاً عن ذلك مقارنة نجوم ذات بريق مختلف جداً .

وبقيت تصحيحات الامتصاص الفضائي بدون عناية كـافية لمـدة طويلة . فـالمسافـة السمتية للنجوم ولمكان الرصد كانت تتغير تبعاً لطول الموجة ، ودلّ الامتصاص على تغيرات مهمـة بين ليلة وأخرى وأحياناً بين ساعة أخرى . وفي اغلب الاحيان كان يكتفى بتقـدير هـذا الامتصاص بـواسطة جداول امتصاص وسطي تنظم مرة واحدة مثل جدول مـولر في بـوتسدام ، وهذا التصحيح القـاسي جـداً هو المسؤول عن الانحـرافات والاختـلافات الكبـرى في الكتالـوغـات . والـوسيلة الـوحيـدة الصحيحة فعلاً ، إنّما المتعبة جداً ، تقوم على دراسة تغيرات الامتصاص في كل ليلة تبعاً للمسافـة السمتية ، ووفقاً للطريقة التي وضعها بـوغر Bouguer عنـدما اختـرع الفوتـومتريا في القرن الثـامن عشر .

أما أسباب الخطأ الاخرى فهي فيزيولوجية . فتأثير لون النجوم ينتج عن ظاهرة پوركيني Purkyne ؛ ويستبعد هذا الخطأ عملياً عندما تلغى ، بواسطة مصفاة برتقالية اللون، اطوال الموجة التي تقل عن 0,454 μ . وبالتالي ونتيجة التفاوت المحلي في حساسية الشبكية فان نتيجة مقارنة نقطتين مضيئتين ، مقارنة قياسية ، تتعلق أيضاً بموقعهما المتبادل . وهذه الظاهرة المتغيرة من راصدٍ إلى آخر ، والتي اكتشفها سيراسكي Cerasky سنة 1890 تؤدي إلى أخطاء منهجية تعادل عشر إلى عشرين من أصل المقدار . وقد أمكن التخلص منها بقلب موقع النقطتين في وسط كل سلسلة من النقط المحددة .

إن المقارنة الفوتومترية [قياس الضوء] بين الصور النقطية هي عملية قليلة الدقة . وأفضل القياسات التي اجراها دانجون بواسطة مقياس الضوء (فوتومتر) پيكرنغ Pickering ، وبواسطة المقياس ذي عين الهر ، تمثل بالنسبة إلى رصد مشهود (Pointé) ، الانحراف الرباعي الوسط ±0,097 من المقدار ، أي (9%) (محسوبة انطلاقاً من الف رصد مشهود لنفس النجم) . صحيح ـ والانحرافات Écarts موزعة وفقاً لقانون غوس Gauss ـ انه بالامكان تحسين الدقة في النتائج بأخذ المعدل الوسط لعدد كبير من الأرصاد المشهودة .

إن العين تتعرف بدقة أكبر على المساواة بين شاطئين ضوئيين متجاورين من نفس اللون . فكان من المفيد اذن تطبيق تقنية أكيدة في المختبر ، على دراسة النجوم البراقة .

في بعض الفوتومترات ذات الصور الخارجة عن البؤرة ، يتم التصويب بواسطة المعيان oculaire على قطع في الضمة النجومية بعيدة عن بؤرة الشبحية . والافضل ـ كما في الفوتومتر الشامل العاري من الشاشة الباثة الذي وضعه فابري وبويسون (1920) ـ تطبيق طريقة الشطوط الحدقية . ان العين ، إذا وُضِعت عند محراق الشبحية ، وتلقت في حدقتها ، صورة نجم ، فانها ترى الشبحية مضاءة بشكل متناسق . نضع في مواجهة الشبحية شاطىء مقارنة قابلاً للتضبيط : اما سطحاً عاكساً الضمة المتأتية من مصدر شبه نقطي ، أو سطحاً باثاً متسق الاضاءة . ان دقة « الارصاد المشهودة » Pointés ، القليلة التأثير بالاضطراب الفضائي ، لا تتضاءل الا ببطء مع اضاءة الشواطىء . ان توزيع 555 رصداً مشهوداً لنفس الكوكب حاصلاً بواسطة فوتومترج . دوفي J. Dufay (1930) باللون الأخضر ، قد أعطى الانحراف الرباعي الوسط (± 0,027) من المقدار (2,5%) . وتؤدي ستة إلى عشرة أرصاد مشهودة ، بالتالي ، إلى نفس الدقة التي تؤمنها مئة من المقارنات للصور النقطية .

الطرق الفوتوغرافية ـ ان الفوتومترية النجومية التصويرية ، التي تطورت بسرعة بين 1900 و 1912 ، تقدم من المكاسب ـ فيما تقدم ـ امكانية دراسة نجوم أضعف ، كما تمكن في الغالب ، وعلى نفس اللوحة « كليشه » تحديد مقادير عدد كبير من النجوم . وقد استعملت ـ وما تزال تستعمل ـ صفائح تسمى « عادية » ، تشمل حساسيتها فوق البنفسجي حتى الازرق ـ الاخضر . ان القياسات الفوتوغرافية تتناول اذن أطوال موجة أقصر من القياسات الرؤيوية ، حتى ان فارق الضخامة بين كوكبين مختلفي الالوان ليس واحداً بالنسبة إلى الصفيحة وبالنسبة إلى العين . ان

« صفر » السلم الفوتوغرافي قد حدد بواسطة قاعدة بيكرينغ : فالنجوم البيضاء من النمط الطيفي (A0) ذات الحجم الواقع بين 5,5 و 6,5 ، يجب أن يكون لها، وسطياً، نفس الضخامة الفوتوغرافية والرؤيوية .

ويتضمن القياس الفوتومتري الفوتوغرافي (الضوئي التصويري) عادة عمليتين متميزتين : قياس عدم شفافية المناطق المتأثرة من الصفيحة ، وبناء منحنى التسويد الذي يربط بين الكثافات (عدم الشفافية) وبين الاضاءات . ولكن من المستحيل اجراء قياسات كثافة داخل البقع الصغيرة جداً التي تعطيها النجوم فوق الصفيحة عند بؤرة منظار أو تلسكوب . وفي أغلب الاحيان امكن تفادي الصعوبة ببسط الصور النجومية بشكل مصطنع .

منذ 1900 استعمل ك . شوارز شيلد هيكلاً، يطبع فوق الصفيحة ، أثناء الاستراحة ، سلسلة من التنقلات الصغيرة بحيث يكون لكل نجمة شاطىء مربع موحد نوعاً ما ، وقد استعمل هذا الهيكل لصنع الكاتلوغ المتعلق بالنجوم الواقعة بين الميلين صفر و+20°(غوتنجر اكتينومتريا 1910-1912) .

وانه من الابسط بكثير ، وضع الصفيحة أمام أو وراء السطح البؤري بقليل ، بحيث تعطي كل الكواكب بقعاً دائرية من نفس القطر ، انما بكثافات (قلة شفافية) مختلفة . وبواسطة هذا الاسلوب ، المستخدم في أغلب الاحيان ، حصل باركهرست Parkhurst على دقة من عيار بعض الأجزاء من فئة من « الضخامة » (magnitude) (1912, Yerkes Actinol metry) ، في دراسة 660 نجمة واقعة بين القطب الشمالي والميل +73° . ولكن الكثير من الشبحيات تعطي شواطىء (جوانب) هامشية البؤرة غير صالحة للاستعمال نتيجة انعدام الوحدة بينها . ان صورة شبحية كاسرة للضوء ، حاصلة بفضل شبحية ذات بؤرة قصيرة ، هي دائماً منورة بشكل موحد (ش . فابري ، 1910) . ان هذه الطريقة ، طريقة الدائرة العينية ، وقد طبقت مؤخراً في رصد المتغيرات ، قد أدت إلى دقة من عيار ± 0,02 « ضخامة » .

ولما كان نشر الصور النجومية يزيد كثيراً من مدّة أخذها ، كان يتعين اجراء القياسات بالنسبة إلى النجوم الضعيفة على الصور البؤرية . وفي وضع الأخذ الثابت ، يتزايد قطر الصور مع تزايد بريق النجوم (وبذات الوقت تزداد الكثافة المتوسطة) (بوند ، 1858) . واذا كانت ضخامات بعض نجوم الحقل معروفة ، بصورة مسبقة ، فبالامكان رسم منحنىً استقطابي يربط الضخامات بالاقطار ، ولكن الدقة هنا تكون ضعيفة ، لأن القطر لا يزداد الا ببطء تبعاً للبريق . وأدت طريقة دي شيلت de Schilt (1924) إلى انجاز مهم جداً . على الصفيحة « كليشه ، تنار دائرة ، يقارب قطرها قطر أكبر الصور النجومية ثم يقاس ـ بواسطة مزدوج حراري كهربائي ، أو بواسطة خلية تصوير كهربائي ـ الدفق المنقول عبر الدائرة المنورة . ومن الافضل أيضاً ، كما يجري اليوم ، اسقاط صورة دياغرام قزحية (Iris) على الصفيحة ، ثم نغير فتحة القزحية ، من اجل رد الدفق المنقول ، في كل مرة ، إلى نفس القيمة . وهكذا قد تصل الدقة إلى 3% وتبقى مقبولة بخلال مرحلة بين الضخامات الواسعة .

وعندما يجري العمل فوق شواطىء موسعة ، فان التعيير الفوتومتري قد يجري اما على الكواكب ، أو في المختبر حيث تتاح أساليب تقليصية متنوعة . ويكفي التأكد من أن منحنى طاقة المنبع الاضافي يختلف قليلاً عن مصدر النجوم . ولكن التعيير يجب دائماً أن يتحقق على النجوم عندما تتناول القياسات الصور البؤرية . وفوق حقل نجومي غني نوعاً ما تكفي وقفتان ـ احداهما بدون تخفيض ، والاخرى بتخفيض الاضاءة بنسبة معينة ـ لرسم منحنى السواد وفقاً لعدد كبير من النقاط (شوارتزشيلد) . والتخفيض أو الاضعاف قد يحصل بواسطة منخل أو شبكة دقيقة ، أو أيضاً بواسطة مصفاة ماصة حيادية . وبوضع المصفاة أمام نصف الصفيحة بخلال الوقفة الاولى (التعريض) ، وأمام النصف الأخر بخلال الوقفة الثانية ، من الممكن ملاحظة التغير الممكن في الامتصاص الفضائي . ان الشبك الموضوع أمام الشبحية ، العامل كشبكة تحريف أو كسر يتيح أخيراً تحقيق التعيير في وقفة وحيدة ، بجعل القياسات تتناول بآنٍ واحد الصور المركزية والصور الأولى المحروفة من هذا الجانب وذاك من هذه الصور الاخيرة (أ . هرتز سبرونغ 1922) .

فإذا عرفت تماماً ضخامات نجوم حقل نجومي ، أمكن تعيير الكليشهات المأخوذة عن مناطق أخرى وذلك بتصوير الحقل المعياري على نفس الصفيحة ، وعند نفس المسافة السمتية . وقد بذلت جهود ضخمة من اجل تحديد ضخامات النجوم المجاورة للقطب الشمالي ، القابلة للرصد ضمن نصف كرتنا الشمالي ، في كل ساعة من ساعات الليل وفي كل فصل .

ان السلسلة القطبية الدولية تحتوي على 96 نجماً ذات ضخامات فوتوغرافية تتراوح بين 2,5 و 20,1 مع لائحة اضافية بـ 56 نجمة أخرى . وهناك سلاسل اخرى مرتبطة بالاولى في مناطق متنوعة (مناطق مقياسية معتمدة في جامعة هارفارد) وفي بعض الكتل المجرية (الثريات ، البرايسيب Paraesepe) يمكن ان تستخدم كمعايير ثانوية .

الطرق التصويرية الكهربائية ـ وبحسب التتبع الملح للتقدم الحاصل في صنع الخلايا Cellules ، قلب التصوير الكهربائي في أقل من قرن من الزمن الفوتومتريا النجومية . والتطبيق الأول يعود إلى سنة 1910 . وبواسطة خلية (أو فيلم) تصويرية موصلة من السيلينيوم ، رسم ج . ستيبنس Stebbins ، بدقة مدهشة محنى ضوء نجمة ذات كسوف الغول Algol . ووضع لأول مرة موضع التأكيد الحد الادنى الثانوي الذي كان وجوده متوقعاً والذي كان عمقه أقل من عشر الضخامة . ولأوّل مرة بلغت الدقةُ واحداً على مئة من الضخامة ، وهو أمر لم تحققه أية طريقة أخرى . ان خلايا السيلينيوم التي تصاب « بأثر تعب » مزعج للغاية ، قد استبدلت بخلايا تصويرية ارسالية من البوتاسيوم المهدرر (من هيدرور) حساسيتها قصوى في الازرق ، أو بخلايا من الروبيديوم أو من الصوديوم .

واستعملت في أغلب الاحيان خلايا غازية ، أكثر حساسية من الخلايا الفراغية ، ولكنها مشوبة بعيب انها لا تعطي تياراً يتناسب بدقة مع الدفق الذي يأتيها . ورغم هذا فان زخم التيار التصويري الكهربائي كان حتى ذلك الحين ضعيفاً جداً يستعصي على القياس المباشر بواسطة غالغانومتر ، وكان من الضروري استخدام مقياس كهربائي ذي طاقةٍ قليلة .

ومن سنة 1918 إلى 1932 جرى بشكل خاص تمسك دقيق بدراسة المتغيرات البراقة من النجوم ، لأن النجوم الضعيفة كانت حتى ذلك الحين مستعصية على القياس (ستيبنس ، غوثنيك) . ثم ظهرت اللمبات القياسية الكهربائية (الكترومتر) ذات المقاومة الداخلية العالية جداً . فأتاحت افادة الفوتومتريا النجومية من تقنيات التضخيم بواسطة التيار المستمر (ويتفورد ، 1932) . وبعد ذلك بقليل حقق ج . س . هال في سنة 1934 القياسات الأولى النجومية بقرب تحت الاحمر ، بواسطة خلية من الكاييزيوم المؤكسد على الفضة ، المبردة بواسطة الثلج الكربوني وذلك من أجل تقليل البث الحراري الايوني من الكاييزيوم .

إن استعمال المضخم ذي المقاومة ذات الشحنة العالية يعمل للأسف على تضخيم أكثر للتموجات التي تشكل ضجيج العمق أكثر مما يفعل التيار التصويري الكهربائي بالذات . ان المكثرات التصويرية التي شاع استعمالها بعد سنة 1945 ، هي أكثر فائدة بهذا الشأن . ويرتكز عملها على بث الكترونات ثانوية بفضل بعض المواد مثل الخلائط من المنيزيوم والفضة عندما تضرب بالكترونات ذات طاقة كافية . واذا زدنا عدد الأهداف الباثة أو ما يسمى « دينود » فاننا نضرب ، عند كل دينود نلتقيه ، عدد الالكترونات ، بعدد يتراوح بين 2 و 5 . من ذلك انه ، في المضاعفات التصويرية التي وضعها لاليماند Lallemand ذات 19 إلى 20 طبقة ، يكون زخم التيار الحاصل بما يعادل 10 أو 20 مليون مرّة أعلى من زخم التيار التصويري الكهربائي في الاساس . ولكن هذا التضخيم الهائل لا يزيد ضجيج القاع بالنسبة إلى الاشارة .

بعد هذا استعملت في الفوتومتريا النجومية المضخمات التصويرية التي تسمح بقياس كل النجوم على الاقل المرئية من خلال معيان التلسكوب الذي يحملها ، أما الدقة فانها في أغلب الاحيان غير محدودة الا بتغيرات شفافية الجو ، واضطرابها أو بفعل اضاءة السماء . ولما كان الجواب آنياً وفي الحال فان هذه المضخمات تستعمل أيضاً كعدادات للفوتونات أو لاحصاء النبضات الآتية بخلال مدة معينة ، من اجل قياس التدفقات الاكثر ضعفاً .

وتستعمل اليوم بشكل خاص كاتودات من الكايزيوم والانتيمون حساسة بالنسبة إلى فوق البنفسجي وإلى الاحمر كما تستعمل كاتودات من الكايزيوم من الفضة تبلغ حساسيتها القصوى حوالى $0{,}8\mu$ وتمتد حتى $1{,}2\mu$. انما يجري العمل بوجه عام على شرائط طيفية ضيقة ، أما القياسات فانها ترتبط بمقاييس اللون (كولوريمتريا) .

من 1,2 حتى $2{,}6\mu$ يعتبر اللاقط الاكثر حساسية في الوقت الحاضر مكوناً من خلية تصويرية موصلة من سلفور الرصاص . ومقاومتها ضعيفة نسبياً وكذلك ضجيجها في العمق ، الأمر الذي أدى إلى اتباع تقنية تضخيمية مختلفة . ويضبط الضوء عند وتيرة تبلغ بضع مئات من الدورات في الثانية . والتيار الذي يمر بالخلية يرسل إلى مضخم ذي تيار تناوبي في شريط عبّار ضيق نوعاً ما ، ومنسق وفقاً لتواتر التضبيط . ولكن في بؤرة تلسكوب ذي فتحة تبلغ 120 سنتيمتراً ، من الصعب حتّى الآن بلوغ نجوم حمراء أضعف من الدرجة الثامنة من الضخامة .

2 ـ القياس التلويني أو الكولوريمتريا

إذا كـان منحنى الطاقـة لنجمة مـا يشبه منحنى جسم أسـود فيمكن تمييز هـذا المنحنى الأول بواسطة ثابتة معيارية واحـدة هي درجة حـرارة اللون . ويبحث في أغلب الأحيان في استبـدال هذه الـدرجة ، بثـابتة معيـارية أخـرى أو « المعادل اللوني » الـذي لا يقتضي تحديـده قيـاسـات طيفيـة تصويرية ، شاقة دائماً وغير قابلة للتحقيق بالنسبة إلى النجوم الضعيفة .

ان الشبكة المنخل الموضوعة أمام الشبحية تعطي ، فـوق الصفيحة المـوضوعـة في البؤرة ، أطيافاً صغيرة محروقة فوقها يجري بسهولة قياس موقع أقصى السواد (هرتز سپرونغ) . وكغيـره من المعـادلات اللونية الاخـرى يتعلق طول المـوجة الفعلي هـذا ، بآنٍ واحـد ، بـدرجـة حـرارة لـون النجم ، وبحساسية الصفيحة الطيفية ، وبمنحنى نقل الفضـاء (ان موشـوراً ذا زاوية صغرى يقدم طيفاً مماثلاً مع خسـارة في الضوء أقـل) . ان الوسـائل المـرتكزة على التـساوي البصري في لـون نجمة ما ومصدر اصطناعي ، تستحق ان تذكـر على سبيل التـذكير ، وكـذلك تـذكر أيضـاً الطريقـة الاصيلة التي وضعهـا تيكهوف Tikhov وتـام Tamm سنة 1922 و 1923 والتي استفـادت من الزيغـان اللوني في الشبحية ، المقنعة في قسمها الاوسط من اجل تصوير شواطىء خارج بؤريـة ذات مظهـر مختلف بحسب لون النجوم . وفي باديء الامر اتخـذ كمؤشر لـوني لنجمة مـا الفرق بين ضخـامتها الفوتوغرافية وضخامتها البصرية . وسنداً للقاعـدة التي وضعهـا بيكـرنغ ، يجب أن يكـون للنجوم من النمط A0 وسـطيـاً مؤشر معدوم اللون أمّا النجوم الاكثر زرقة (الـطبقة الـطيفية B) فلهـا مؤشر سلبي ، وأما النجوم الاخـرى فلها مؤشر ايجابي يكبر كلما ازداد احمـرارها . أمـا مؤشرات اللون الحاصلة فتدل تماماً على هذا التغير التدريجي تبعاً للنمط الطيفي .

وفيما بعد بدا من الافضل استبدال الضخامات البصرية بالضخامات المسمـاة « بالتصـويريـة البصرية »التي تؤخذ على صفائح حساسة أمام كل الألوان (اورتـوكرومـاتية) ، حسـاسة حتى درجـة $0,6\mu$ ، مـع ذروة حادة تـدور حول $0,55\mu$. فـإذا اضيف اليها مصفـاة صفـراء تـزيـل الاشعـاعـات البنفسجية ، فان هذه الصفائح تأخذ منحنى من الحساسيـة قريباً من حسـاسية العين بحيث تصبح الضخامات التصويرية البصـرية والبصرية متماثلة تقريباً (پـاركهورست ، Yerkes actinometry ، 1912) . ووضع سيرس Seares (1915-1925) سلسلة قطبية شمالية ذات ضخامات تصويرية بصريـة m_{pv} تشبه السلسلة القطبية ذات الضخامات الفوتوغرافية (m_{pg}) .

إن مؤشرات الالوان الدولية $C = m_{pg} - m_{pv}$ تؤدي إلى تقدير صحيح نوعـاً ما لـدرجة حـرارة لـون الكواكب القـزمة من السلسلة الـرئيسية ، بفضـل العلاقـة نصف التجريبيـة الممثلة بالمعـادلة التالية : $T_c(°K) = 7\,984/(C + 0{,}735)$.

وبـدلاً من استخدام لاقـطين ذوي حساسيـات طيفية مختلفـة ، من المفيد إضـافة مصفـاتين ملونتين مختلفتين إلى نفس الـلاقط (مثلاً صفيحـة واسعة الالـوان وحساسـة تجاه كـل الألوان) . وهكـذا قـد تم تحـديـد الكثيـر من أنـظمـة المؤشـرات اللونيـة (مثـل مؤشـرات ازرق ـ احمـر في هارفارد) . ولكن الخلية التصويرية الكهربائية تعطي بسرعة أكبر نتائج أكثر دقة . وبواسطة خلية من

التوتاسيوم ، مصفاة زرقاء ومصفاة صفراء ، تسجل القياسات ، عموماً فوق شريطين طيفيين متجاورين يدخل احدهما في الآخر ، ولكن مؤشرات اللون تحدد عند 0,02 ± ضخامة تقريبية ، وهي دقة مستحيلة البلوغ بواسطة الفوتوغرافيا . من ذلك مثلاً ان استخدام مؤشرات الالوان التصويرية الكهربائية قدم للقياسات التلوينية النجومية انجازات ضخمة (بوتلنجر ، 1923 ، وبيكر ، 1933 ؛ ستيبنس ، هوفر وويتفورد ، 1934-1939) .

وقد دلت بحوث هؤلاء العلماء على أن التشتت الملحوظ في مؤشرات ألوان الكواكب(طبقة O و B) يتأتى من الامتصاص الموجود بين الكواكب . ان الكواكب البعيدة ذات الارتفاع المنخفض مجرياً ، تحمرُّ بفعل الامتصاص : ويضاف إلى المؤشر الضمني في الكواكب من نفس النمط القريبه من الشمس زيادة في اللون ، تختلف مع اختلاف الاتجاه والمسافة . ولا تكفي القياسات بلونين ، بعدها ، من أجل تمييز درجة حرارة النجوم .

صوّر و . بيكر النجوم فوتوغرافياً من ثلاث مناطق طيفية مختارة : فوق البنفسجية (U) ، وزرقاء (B) وحمراء (R) ثم شكل فروقات الضخامة : B – R و U – B ثم بيّن ان الكمية (U – B) – (B – R) هي مستقلة عملياً عن الامتصاص بين النجوم بالنسبة إلى كل الانماط الطيفية . وقد طبق هذه الطريقة على دراسة الكتل المجرية (1941) . وعلى نسقه قام هـ . ل . جونسون وو . و . مورغان باضافة ثلاثة مصاف إلى مضاعف فوتوغرافي من الكايزيوم والانتيموان ، واحدة بنفسجية U وواحدة زرقاء B وواحدة صفراء (V) مرئية . وقد انتشر النظام U – B – V بسرعة كلية .

وقد حدد جونسون ومورغان في بدأية الأمر المؤشرات الداخلية الضمنية بعد ردها إلى ما فوق فضاء 290 نجمة غير محمرة ، اختيرت لتمثل كل الانماط الطيفية وكل طبقات اللمعان . وأدى قياس المؤشرات U – B و B – V في النجوم المصابة بالامتصاص بين الكواكب إلى تحديد النمط الطيفي واحمرار النجوم B ، بدقة وبآنٍ معاً .

وفي سلسلة أخرى من الاعمال المهمة التي ظهرت بعد 1942 عمل ستبنس وويتفورد على مضعفٍ من الكايزيوم مع الفضة ، فعزلا بواسطة مصاف 6 مناطق طيفية بين μ 0,35 و μ 1,03 . وهكذا استطاعا رسم منحنى امتصاص الجزئيات بين الكواكب . وتعتبر هذه القياسات ، وأكثر منها أيضاً القياسات التي تتم بعد عزل خط قوي من الامتصاص بواسطة مصفاة تداخلية (سترومغرين Strömgren ، 1951-1958) ، ساوية لمطيافية تصويرية قياسية بدائية تقريباً .

3 ـ القياسات الطاقوية

إن اللاقطات الحرارية وحدها الحساسة أيضاً تجاه كل الاشعاعات ، تقيس مباشرة القوة الآتية من النجوم بشكل بريق طاقوي . ولكن هذه القوة هي دائماً صغيرة جداً : فقلما تصل إلى 5×10^{-12} أرغس (ergs) في الثانية وفي السنتيمتر المربع بالنسبة إلى نجمين أو ثلاثة نجوم . ومن جهة أخرى ان اللاقطات الحرارية هي أقل حساسية بكثير من اللاقطات الانتقائية مثل العين والصفيحة الفوتوغرافية أو الخلايا التصويرية الكهربائية ، من هنا صعوبة القياسات .

وبواسطة راديومتر نيكولسن (1901) ، وفي بؤرة آلة من 60 سنتيمتراً كفتحة ، تعطي بعض النجوم فقط انحرافاً ملحوظاً . وقد تم احراز تقدم كبير بفضل ظهور مزدوجات حرارية كهربائية في الفراغ (1912) ، ثم بعد سنة 1913 استطاع كوبلنتز Coblentz ان يدرس حوالي مئة من النجوم بواسطة تلسكوب من 80 سنتمتراً . ثم ، وخاصة بواسطة المزدوجات بلاتين ـ بلاتين ممزوجة بالروديوم ، وفي بؤرة تلسكوب من عيار 250 سنتيمتراً في جبل ولسون استطاع بتيت Pettit ونيكولسون قياس البريق الطاقوي الصادر عن حوالي 200 نجمة ، حتى حدود درجة الضخامة البصرية الثالثة فيما يتعلق بالنجوم الأكثر بياضاً ، وبدرجة الضخامة الثانية عشرة بالنسبة إلى النجوم الأكثر احمراراً (1922-1928) . ثمّ وازيا ـ بالبريق الطاقوي المردود بصعوبة ما إلى سمت جبل ولسون ـ ضخامة راديومترية تساوي m_r ، اخذت مساوية للضخامة الرؤيوية بالنسبة إلى النجوم A0 . ان مؤشر الحرارة $m_r - M_v$ ـ المعدوم وسطياً بالنسبة إلى النجوم A0 ـ يأخذ قيماً ايجابية متنامية ، مثل مؤشر اللون ، بالنسبة إلى النجوم المتزايدة البرودة .

ونظراً لعدم القدرة على قياس البريق الطاقوي في أغلب النجوم ، فانه بالامكان البحث عن حساب هذا البريق انطلاقاً من قياسات اجريت بواسطة لاقط انتقائي . ولهذا يتوجب الحصول على توزيع الطاقة داخل الاطياف النجومية والحصول على منحنى حساسية اللاقط ، ثم ـ من اجل رد البريق إلى ما فوق الفضاء ـ الحصول على منحنى النقل الفضائي . وقد اجريت الحسابات انطلاقاً من قياسات بصرية أو تصويرية بصرية ، وذلك برد اشعاع الكواكب إلى اشعاع الجسم الاسود في درجات حرارة معروفة (هرتز سبرونغ 1906 ؛ ادينغتون 1926) ، ثم بالنسبة إلى النجوم الحارة وانطلاقاً من منحنيات أخرى للطاقة ، نظرية أو ، بالنسبة إلى النجوم الباردة ، انطلاقاً من ضخامات راديومترية (كيبر ، 1938) . ان الضخامة المسماة بولومترية m_b أخذت مساوية للضخامة التصويرية البصرية m_{pv} ، عندما تكون ذروة منحنى الطاقة مطابقة لذروة حساسية الصفائح الحساسة تجاه كل الالوان (عند $0{,}55\,\mu$) . وهكذا يصبح التصحيح البولومتري $m_b - m_{pv}$ معدوماً بالنسبة إلى الكواكب التي تجاور درجة حرارتها التلوينية 6500°K ويكون سلبياً في درجات الحرارة الأخرى الاكثر سخونة أو الاكثر برودة . ان الضخامات البولومترية تتدخل دائماً في الحسابات المتعلقة بتشعيع الكواكب .

4 ـ فوتومتريا النجوم غير النقطية

عندما تكون الابعاد الظاهرة لنجم ما قابلة للتقدير ، فيمكن ، من حيث المبدأ ، السعي إلى قياس ـ عدا عن بريقها النجومي ـ اضاءتها الذاتية luminance ، أو بريقها النجومي في وحدة الزاوية الجامدة . ان دراسة ـ نقطة نقطة ـ الاضاءة الذاتية فوق سطح النجم ليست ممكنة الا اذا كان الامتداد الزاوي كبيراً نوعاً ما (حالة الشمس وتاجها ، وحالة القمر ، وأحياناً حالة الكواكب الكبرى ، والمجرات الكبرى القريبة نوعاً ما ، والسُدُم الكبرى) . وبالنسبة إلى السدم الصغيرة المجرية أو الخارجة عن المجرات ، كما هو حال الكواكب ذات القطر الصغير ظاهراً ، تتناول القياسات ، عموماً ، البريق الاجمالي ، ومنه يمكن استخلاص الاضاءة الذاتية الوسطى بعد معرفة الابعاد الزاوية .

يُقاسُ البريق الاجمالي للكواكب (Planètes) ، بنفس الكيفية التي بها يقاس بريق النجوم . ان اشعاعها الحراري الذاتي لا يكون ملحوظاً الا في حالة تحت الاحمر ، وعندها تتناول القياسات المناطق المنظورة أو المناطق البنفسجية ، فقط ، الضوء الشمسي المبثوث من قبل الكوكب . ان بريق الكوكب لا يتغير فقط مع مسافته بالنسبة إلى الشمس وإلى الارض ، بل يتغير أيضاً مع المسافة الزاوية بالنسبة إلى الشمس وإلى الارض منظورين من الكوكب (زاوية المرحلة أو الطور) . ان معرفة قانون الطور loi de Phase تقدم معلومات مفيدة حول طبيعة التربة والفضاء الكوكبي . ان القياسات القديمة التي وضعها ج . مولر بواسطة فوتومتر زولنر Zollner ، قد استعيدت واستكملت من قبل دانجون سنة 1948 ، الذي درس قوانين المرحلة في عطارد والزهرة بواسطة فوتومتر بصري ذي حقول متراكمة ، تتيح مقارنة صورة مكبرةٍ قليلاً للكوكب مع صورة صغيرة جداً للشمس ذات بريق يمكن ضبطه . ان قانون الطور بالنسبة إلى القمر قد كان أيضاً موضوع دراسات بصرية وفوتوغرافية قبل الدراسة التصويرية الكهربائية الواضحة جداً التي قام بها روجيه Rougier (1933) . لا بدَّ بالنسبة إلى سلالم الضخامات المستعملة فيما خص الكواكب ، ربط بريق المجرات الخارجية بهذه السلالم ، لأن هذا البريق يؤثر في تقدير مسافاتها . ان الطريقة الفوتوغرافية التي وضعها ش . فابري قد تُخيلت ، بالضبط ، من أجل مقارنة مصدر ممتد بمصدر نقطي . وقد اعتمدها بيغي Bigay من اجل الدقة في تحديد الضخامات الفوتوغرافية لـ 175 مجرة (1951) . وقبل ذلك ، جرت قياسات كثيرة وفقاً لطرق هي ولا شك اسهل واسرع ، ولكنها اقل صحة بالتأكيد . وفوق الكليشات التي اخذت بواسطة شبحية قصيرة الطول البؤري ، تعطي الكواكب والاشياء ذات القطر الصغير الظاهر صوراً قابلة للمقارنة تقريباً . وقد تم تحديد ضخامات عدة آلاف من المجرات على هذا الشكل في هارڤارد ، ثم في لند Lund ؛ وكانت الصور غير واضحة فضلاً عن كونها مشوبة باخطاء منهجية . وطبقت الطريقة « خارج البؤرة » في هارڤارد أيضاً وفي يركس ، وأخيراً ان دراسة توزيع الاضاءة الذاتية فوق كليشات ، على مستوى واسع ، هذه الاضاءة التي تعود إلى مجرات ، يمكن أن تعطي ـ عن طريق الدمج ـ البريق الاجمالي ، عندما تُقَيَّر الصفائح مع صور كواكبية خارج بؤرية (ردمان ، هولمبرغ) . ان هذا الاسلوب الدقيق جداً يؤدي إلى نتائج صحيحة ، كما يقدم بذات الوقت معلومات ذات اهمية كبرى حول بنية المجرات .

ان الخلية الكهرضوئية ، الحساسة تجاه كل دفق عام يأتيها ، تستجيب ، بدون صعوبة لكل مقارنة بين المجرات والنجوم . ان مثل هذه القياسات قد أجريت في بادىء الامر ، في الضوء الشامل ، ثم أجريت بين لونين وثلاثة ألوان (ستيبنس ووتفورد وبيغاي Bigay ، وتيت ، وڤوكولور Vaucouleurs) .

ان الدراسة الفوتومترية أي القياستصويرية والقياستلوينية للكتل الكروية تدخل ضمن نفس التقنيات الفوتوغرافية (التصويرية) والتصوير كهربائية . ولكن في حالة السدم ذات الخيوط البراقة ، ليس للقياسات من معنى دقيق إلا عندما تتناول الخيوط الفردية ، المعزولة بواسطة مصاف متداخلة .

وهكذا بفضل الاستعاضة التدريجية عن العين البشرية بواسطة لاقطات جديدة ، توسع مجال القياسات الفوتومترية ، مع تزايد الدقة بصورة مستمرة ، لتشمل نجوماً أكثر فأكثر ضعفاً . وبدا

تطور الفوتومترية النجومية مرتبطاً بشكل ضيق ، باتقان اللاقطات ، حتى ان كل تقدم تقني يفتح آفاقاً جديدة . وأباحت الخلايا من التلولور الرصاصي ، بدون شك ، وبسرعة ، التوسع في القياسات لتشمل تحت الاحمر حتى درجة أربعة ميكرون (4 μ) . وقد عرفت الفوتوغرافيا ، التي لم تكن تنفك تخسر أمام التصوير الكهربائي ، نشاطاً مستعاداً عندما اندمجت بهذا التصوير الكهربائي بشكل ماسمي بالفوتوغرافيا الالكترونية . وبواسطة كاميرا لاليمان Lallemand ، التي تحول بأمانة الصورة التي تعطيها فوتونات على الكاتود إلى صورة الكترونية على الصفيحة ، فإنّ مدة التصوير (الوقفة) أو الوضع قد تقلصت بشكل ضخم ، وأصبحت القياسات الفوتومترية سهلة للغاية بفعل ان الصفائح الخاصة بالالكترونيات تخضع لقانون تسويد أبسط من الصفائح الحساسة تجاه الضوء .

VIII ـ النجوم المزدوجة ذات الكسوفات

إن رصد النجوم المزدوجة بصرياً (المجلد III) لم يعد الا من شأن عدد قليل من الرصاد الدؤوبين . فقد أضيف إلى التقنيات التقليدية (الميكرومتر الخيطي ، الفوتوغرافي) ، في سنة 1939 ، الميكرومتر ذو الصورة المزدوجة الذي وضعه ب . مولر ، والمكيف خصيصاً من أجل استبعاد المفاعيل المعروفة في المزدوجات الضيقة . ان معارفنا حول كتل النجوم ترتكز بشكل كامل تقريباً على المعطيات المتعلقة بحوالي 250 ثنائياً بصرياً ، عناصرها واختلاف منظرها (parallaxe) قد تحددت وعرفت ؛ ولا يمكن بالتالي الا التأسف للموقف الشاجب ، تجاه هذا الموضوع .

وبالمقابل ، ان دراسة النجوم ذات الكسوفات كانت موضوع أعمال مهمة . ان هذه النجوم المزدوجة المرصودة طيفياً تظهر تغييرات منتظمة في بريقها متميزة بتقلصات دورية . فمنذ 1783 عزا غودريكي Goodricke إلى الكسوفات تقلصات الغول Algol (بتا (β) برسي ؛ المدى = 1,2 ضخامة ؛ حقبة 2,87 يوما) ، وقد ثبت هذا التأويل عندما قرر فوجل ان الامر يتعلق بنجمة مزدوجة يُرى طيفها بالمرصد (1889) . وتزول السرعة الشعاعية في لحظة التقلص القصوى : في هذه اللحظة تنكسف المركّبةُ البراقة بالمركبة الاقل بريقاً . وبعد نصف حقبة تصبح النجمة الضعيفة بدورها منكسفة بالنجمة الاكثر بريقاً وعندها يلحظ تقلصٌ ذو اتساع أقل وأدنى (= 0,05 ضخامة ، ستيبنس ، 1910-1920) . ويصبح الاقلان أو التقلصان على نفس المسافة تماماً عندما يكون المدار دائرياً ؛ وقد لا يكونان عندما يكون المدار بيضاوياً . ان عمقهما النسبي يختلف كثيراً بين مزدوج من النجوم وآخر .

وخارج نطاق الكسوفات ، تكون تغييرات بريق الغول ضعيفة جداً . فتغييرات بتا ليرا β Lyrae (غودريكي ، 1784 ، حقبة 12,92 يوماً ، اتساعات التقلصات مجاورة لـ 1,0 و 0,5 ضخامة) هي ، بالعكس بارزة جداً . فهي تدور منحنى الضوء إلى درجة أن فرضية الكسوفات لم تفرض في الحال . ولكن بيكيرنغ اكتشف فيها مزدوجاً طيفياً (سبكتروسكوبياً) (1891) . وقبل ذلك بعشر سنوات ، عثر على السبب الرئيسي للتغييرات الدائمة : ان النجمتين ، القريبتين احداهما من الأخرى ، ليستا كرويتين . ويمكن تشبيههما بالبيضاويتين الدائرتين محورياً ،

المتشابهتين ، الممتدتين باتجاه مركزيهما ، ودائرتين حول محورهما الصغير ، بخلال فترة تساوي فترة الدوران . ان تغير سطحهما الظاهر كبيضاويتين يحدث بالضرورة ، بخلال الدوران ، تغيراً في البريق مستمراً . إن دوران النجوم ، قد ثبت فيما بعد من خلال تفاوتات السرعة الشعاعية قبل وبعد منتصف الكسوف : ويتلقى الراصد قبل الحد الادنى الضوء الصادر عن الطرف الذي يقترب . ان تأويل التغيرات الخارجة عن الكسوفات يُعْمِلُ أيضاً « أثر المرحلة » (l'effet de phase) : فالمُرَكَّبَتان تضيء إحداهما الأخرى ، وسطحاهما المتقابلان يصبحان أكثر اضاءة . ان الامر ليس مجرد انعكاس ، بل هو ظاهرة معقدة من ظاهرات تحويل الاشعاع . وهناك مفاعيل ثانوية أخرى قد تهمل في اكثر الاحيان .

- إن النظرية الفوتومترية حول المزدوجات ذات الكسوفات قد طورت بشكل خاص من قبل هـ . ن . راسل (1911-1912) بالنظر إلى صحون النجوم باعتبارها براقة بشكل واحد متسق . وقد وسَّع راسل وشابلي 1912 الحسابات فأشملاها الحالة التي تكون فيها الصحون ، مثل صحن الشمس ، معتمة عند الحواشي ، وطبق شابلي الطريقة على تسعين زوجاً (1915) . وادخلت تحسينات متنوعة فيما بعد ، خاصة من قبل كوپال (1946-1950) .

ومن المهم قبل كل شيء الحصول على منحنى من الضوء واضح جداً . ولمدة طويلة منحت الافضلية ـ مع بعض القياسات الفوتوغرافية التي قام بها هرتز سبرونغ ـ للقياسات البصرية التي اجريت بواسطة فوتومتر پيكيرينغ ، خاصة من قبل دوغان Dugan ، الذي حسب بنفسه العناصر الفوتومترية في العديد من الأنظمة . ولكن التوجه الآن منصب على القياسات التصويرية الكهربائية ، التي تستطيع وحدها الوصول إلى دقة تعادل واحداً على مئة من الضخامة .

إن دراسة التغييرات الخارجة عن نطاق الكسوفات قد أتاحت حسبان مفاعيل البيضاوية ، ومفاعيل المرحلة ثم بناء منحنى الضوء المسمى « المصحح أو المعدل » الافقي بين الكسوفات ، الذي يرصد في حال غيابها . ان تحليل هذا المنحنى يؤدي إلى تقدير نسبة الكثافة الضوئية luminance في المركَّبتَين ، وإلى تقدير النسبتين R_1/a و R_2/a لشعاعيهما بالنسبة إلى الشعاع a للمدار النسبي ، وأخيراً إلى ميل (i) سطح المدار بالنسبة إلى السطح الملامس للكرة السماوية .

وعندما نلاحظ في الطيف أنظمة الخيوط العائدة لكلٍ من المكونات ، فان دراسة منحنيي السرعة الشعاعية تعطي اتجاه المدار في سطحه ، وتعطي مدى خروجه أو انحرافه عن المركز ، والحاصل a جيب i (a Sin i) (بالاشعة الشمسية أو بالكيلومترات) ، وتعطي أخيراً حاصل مكعب جيب i ($Sin^3 i$) لكتل النجمتين (بالكتل الشمسية أو بالغرامات) .

وعندما يتم رصد الطيفين ، يعطي دمج العناصر التي تقدمها الفوتومتريا والمطيافية أخيراً ـ وبالكيلومتر ـ شعاع النجمتين ، وكتلتيهما بالغرام وثقلهما النوعي بالغرام في السنتم المكعب . وتبدو هذه المقادير اليوم شبه معروفة فيما يتعلق بحوالي ثمانين زوجاً .

وفيما خص نجوم السلسلة الرئيسية تتقلص الاشعة دائماً من الطبقة O (أكثر من عشرة أشعة شمسية) إلى الطبقة G (شعاع شمسي واحد) . وتتضاءل الكتلة بسرعة من الطبقة O (أكثر من

عشرين كتلة شمسية) إلى الانماط الأخيرة A ، ثم ببطء شديد إلى الطبقة F والى الطبقة G حيث تصبح قريبة من طبقة الشمس . ولما كان الحجم يتضاءل بأسرع من الكتلة ، فإن الثقل النوعي يزداد باستمرار من النجوم O إلى النجوم K ، بسرعة فائقة في البداية ، ثم ببطء شديد فيما بعد . ويتضاءل الثقل النوعي من 0,1 غرام في السنتيمتر المكعب في الانماط الاولى B ، حتى يبلغ 1 غرام/سم^3 في الطبقة F ، ويقترب من 2 غرام/سم^3 في الطبقة K . وبالنسبة إلى الكواكب العملاقة ، النادرة الوجود في المزدوجات ذات الكسوف ، نجد كثافات (ثقل نوعي) تتراوح بين 0,008 و 0,03 غرام في السنتيمتر المكعب . وأخيراً ان بعض العملاقات الخارقة ، التي يساوي شعاعها عدة مئات أو ألفاً من الاشعة الشمسية تؤدي إلى كتل خاصة نوعية تساوي أو تقل عن 0,001 مليغرام في السنتيمتر المكعب .

وبدلاً من التقسيم القديم إلى « الغوليد » (Algolides) وإلى نجوم من نمط بتا ليراي β Lyrae ، يعتمد اليوم تصنيف فيزيائي أكثر دقة ، يدخل الاطياف والكثافات الضوئية في المكونات . وفيما بين النجوم ذات الكسوفات ، ان كثرة وتواتر الانماط الطيفية من عيار B و A تنتج عن مفعول انتقائي يعزى إلى الزخم الضوئي الاكبر في هذه النجوم . وضمن فضاء محدود حول نطاق الشمس ، ان النجوم من نمط و . اورسي ماجوريس W. Ursae Majoris ، هي في الواقع ثلاثين مرةً أكثر عدداً في كل وحدة حجم (شابلي ، 1946) . ان الامر يتعلق بأزواج من النجوم القزمة الشديدة القرب بعضها من بعض والشديدة البيضاوية من النمط الطيفي المتقدم (خاصة F و G) ذات الحقبة التي تقل عن يوم واحد .

إن الدراسة المطيافية المفصلة للمزدوجات الشديدة الالتصاق قد كشفت في الكثير من الحالات عن تعقيدات فيزيائية غريبة تجعل العناصر المحسوبة غير موثوقة .

إن النجوم و . أورسي ماجوريس والمزدوجات المتلاصقة من النجوم B ، محاطة بغلاف غازي مشترك (و . ستروف) . ان وجود حلقة غازية ذات دوران سريع قد اكتشف حول مكونة ر و توري R W Tauri البراقة . وتظهر تيارات غازية أحياناً بين النجمتين (مونوسيروتيس U. X. Monocerotis وبتا ليراي β Lyrae) . وحول بتا ليراي يوجد أيضاً اما حلقة غازية تتوسع وتنتشر (ستروف) ، أو حلزون من الغاز المقذوف من قبل احدى المكونات .

إن مجمل هذه النتائج أوحى لستروف بالرسيمة التطورية التالية : بتكثف غمامة بين النجوم تولد أولاً نجمة B ضخمة (عشر كتل شمسية) ذات دوران سريع وشديدة التسطح ، يؤدي عدم استقرارها الجذري إلى الانشقاق ، معطياً مزدوجاً مماثلاً لـ او كورونا بوراليس U. Corona Borealis (طيف A و G ، كتل 4 و2 شموس) . وأخيراً ان انشقاق المكوّنة الاصغر والاقل كتلة يؤدي إلى تشكل نظام كوكبي ، بحسب فرضية نشكونية (نشأة الكون) قال بها فون ويزساكر . ان تكون هذه الرسيمة صالحة أو غير صالحة ، من المؤكد ان دراسة المزدوجات المتلاصقة يجب أن تساهم بفعالية في حل المسائل التي يطرحها تطور النجوم .

IX ـ النجوم المتغيرة

إن أول نجمة متغيرة معروفة هي ميراسيتي Mira Ceti وقد اكتشفت سنة 1596 من قبل د . فابرسيوس D. Fabricius ، وبعد ذلك بثلاثة أرباع القرن ، في سنة 1667 ، لاحظ ج . مونتاناري ان بتا پرسي β Persei (الغول) لم تكن ثابتة الحال . وفيما بعد ، زاد عدد النجوم المعروفة بتغيرها ؛ ببطء أولاً ، ثم بسرعة أكبر فأكبر فيما بعد . في سنة 1865 سجلت 113 نجمة متغيرة . ان الجدول التالي يعطي عدد النجوم المتغيرة الموجودة في مختلف الكاتالوغات المنشورة منذ نهاية القرن التاسع عشر .

وإن أخذنا في الاعتبار النجوم الواقعة في الكتل الكروية ، وفي غيوم ماجلان والمجرات الأخرى الخارجية والتي لا تظهر عموماً في هذه الجداول ، فان عددها يتجاوز 20000 .

إن النجوم الاولى المتغيرة قد اكتشفت عرضاً اثناء أرصاد بصرية ، ولكن الفوتوغرافيا ، التي كثر استعمالها منذ أواخر القرن التاسع عشر ، هي التي أتاحت الاكتشاف المكثف ، خاصة في مرصد هاوفارد ، تحت اشراف وتشجيع أ . ش . بيكيرينغ ، ثم هـ . شاپلي . وقد استعملت طرق عدة لمقارنة كليشيهات نفس الحقل ، حاصلة في عدة حقب مختلفة : تركيب كليشه سلبية مع ايجابية ، المقارنة المباشرة بين سلبيتين ، تفحص في « البلنك ـ ميكروسكوب » أو المكبر ـ المقارن . ومن أجل التقاط المتغيرات السريعة جداً ، تلتقط لقطات متعددة لحقل ما بخلال نفس الليلة . ويمكن أيضاً التعرف على ماهية المتغيرات بواسطة طيفها .

عدد المتغيرات	واضع الكاتالوغ	السنة
393	س . ش شاندلر	1896
1425	ميس آ . كانون	1907
2054	ج . مولر وي . هارتويغ	1920
4611	ر . پراجر	1930
8445	هـ . شنلر	1941
10912	ب . و . كوكاركين وپ . پ . پاريناغو	1948
14708	ب . و . كوكاركين و پ . پ . پاريناغو	1958

إن الرصد الفوتومتري للنجوم المتغيرة يقوم على قياس ضخامتها في لحظة معينة . وبتسجيل ذلك فوق رسم بياني ، يوضع الوقت في الاحداثي الأفقي (محسوباً بالأيام الجوليانية) والضخامات عند الاحداثي العامودي ونحصل على منحنى الضوء . لقد جرت الأرصاد الأولى دائماً بصرياً ، وعلى العموم بواسطة أساليب درجات ارجيلاندر Argelander ، المستعملة منذ منتصف القرن التاسع عشر . وحوالي بداية القرن العشرين تأسست جمعيات تضم ارصاد الكواكب المتغيرة في العديد من البلدان ، وضمت هواة ومحترفين . ووضعت هذه الجمعيات البرامج . وقدمت

خارطات تعريف للرصّـاد وجمعت الملاحظات والارصاد وأمنت اذاعتها ونشرها .

وهكذا تشكلت في انكلترة حوالي سنة 1905 شعبة النجوم المتغيرة التابعة للجمعية الفلكية البريطانية ؛ ثم تأسست الجمعية الاميركية لرصاد النجوم المتغيرة (A. A. V. S. O) سنة 1911 في الولايات المتحدة من قبل بيكيرينغ ؛ وقد سجلت بعدها حوالي ألف نجم في برنامجها ، وأمنت نشر أكثر من مليون عملية رصد . وتشكلت تجمعات مماثلة : في فرنسا : (A. F. O. E. V مع ج . ماسكارت وهـ . غروييه وآ . برون) وفي اليابان ، وفي نيوزلندة وفي الاتحاد السوفياتي ، الخ .

إن هذه الأرصاد البصرية الجارية بالعين المجردة ، وبالمنظار أو بواسطة المنظار الطويل أو التلسكوب ، هي ذات دقة كافية للحصول على المنحنيات الضوئية الجيدة في حالة نجوم ذات مدى تغيّر أكبر (متغيرات طويلة أو غير منتظمة الحقب) . من الضروري إجراء قياسات أكثر دقة من أجل بناء منحنيات ضوء المتغيرات ذات المجال الضيق : مثل السفيديات أو مثل المتغيرات ذات الكسوفات . وعندها تستعمل الاجهزة وتطبق طرق الفوتومتريا البصرية وطرق الفوتوغرافيا أوالتصوير الكهربائي من أجل رصد هذه الكواكب .

وتفحص هذه المنحنيات الضوئية يدل على وجود فئات مختلفة جداً من النجوم المتغيرة . انها دراسة الحقبة ، والاتساع والشكل المنتظم ، فيما خص منحنى الضوء ، هي التي أدت إلى التصنيفات المتتالية المتزايدة التعقد . وأشهر التصنيفات هي تصنيفات أ . ك . بيكرينغ سنة 1911 ، وتصنيفات آ . نيجلاند سنة 1913 ، وتصنيفات پ . غوتنيك سنة 1921 ، وتصنيفات شنلر Schneller سنة1939 . وأحدث التصنيفات هو تصنيف كاتالوغ ب . و . كوكاركين وب . ب . بارنغو الذي نشر سنة 1958 ، وفيه وزعت المتغيرات إلى ثلاث مجموعات كبرى هي : 1 ـ النجوم المرتعشة وتقسم إلى 22 نمطاً ؛ 2 ـ المتغيرات المتفجرة وفيها 12 نمطاً ؛ 3 ـ المزدوجات ذات الكسوفات وفيها 5 أنماط . وهذا هو التصنيف الأكثر كمالاً المتيسر لنا في الوقت الحاضر .

السفيديات ـ إن طبقة السفيديات هي من الطبقات المهمة ؛ في سنة 1895 عرف منها 33 نجمة فقط ، تتراوح حقبها بين يومين ونصف و39 يوماً مع اتساعات تتراوح بين نصف ضخامة وضخامة كاملة . في هذا التاريخ بالذات ، اكتشف س . ج . بايلي في بعض الكتل الكروية (م 5) متغيرات ذات صفات متشابهة ، انما تنقص حقبها عن عشرين ساعة ، وذات نمو في البريق سريع جداً . وتم في السنوات اللاحقة اكتشاف المئات من هذه المتغيرات . وفي مطلع القرن عثرت مسز و . ب . فليمنغ خارج الكتل الكروية على سفيدية ذات حقبة صغيرة : هي ر . ر . ليراي التي تتسم بذات الصفات التي تتسم بها متغيرات الكتل . وأدّى استخدام الفوتوغرافيا بعد ذلك إلى اكتشاف العديد من المتغيرات الأخرى من نمط ر . ر . ليراي . ونعرف اليوم في مجرتنا أكثر من 600 سفيدية كلاسيكية (ذات حقبة تزيد على يوم واحد) وأكثرمن 2000 في المجرات الخارجية خاصة في غيوم ماجلان . وقد تم احصاء 2000 متغيرة من نمط ر . ر . ليراي R.R. Lyrae وذلك في المجرة ، ومنها 600 مجموعة في الكتل الكروية .

وتم اكتشاف متغيرات دورية المرحلة والشكل من حيث منحنى الضوء في بعض النجوم من

نمط ر . ر . ليراي والسفيديات الكلاسيكية وذلك في سنة 1915 من قبل س . ن . بلاشكو Blazhko (مفعول بلاشكو) . ولوحظ وجود تغيرات خفيفة في الحقب من قبل و . ك . مارتان سنة 1938 ، في عدة من نجوم ر . ر . ليراي وفي كتلة أوميغا سنتوري Centouri ω وذلك بمقارنة الارصاد التي جرت بين 1931 و 1935 بالارصاد التي قام بها بايلي بين 1892 و 1898 . ان بعض المتغيرات من هذه الكتلة لها تموجات مهمة جداً ، بحيث يصعب اعتبارها كتغيرات دورية طويلة مشابهة للتغيرات السابقة . وأجريت أرصاد مماثلة فيما بعد في كتل كروية أخرى من أجل نمط ر . ر . ليراي ومن اجل السيفيديات الكلاسيكية أيضاً . ان حقبة ر . ر . سيفي من نمط ر . ر . ليراي قد تقلصت ثم استطالت تباعاً بعدة ثوان بين 1898 و 1932 .

في سنة 1912 اكتشفت الآنسة هـ . س . ليفيت Leavitt العلاقة بين الحقبة واللمعية في السيفيديات ، وهي علاقة ذات أهمية رئيسية من اجل تحديد المسافات بين المجرات . وتم العثور فضلاً عن ذلك على اشارات متعلقة بتقرير هذه العلاقة وبقياسها المؤقت وكذلك بمراجعة سلم المسافات الذي اقترحه و . باد Baade سنة 1952 . ان الضخامة المطلقة القريبة من الصفر والتي عزيت لمدة طويلة إلى النجوم من مثل ر . ر . ليراي تتطلب بدون شك ادخال تغيير بسيط عليها ؛ إذ يبدو على أثر الاعمال الذي قام بها بارنياغو Parenago سنة 1955 وو . ج . أغجن Eggen سنة 1961 أنّ الزخم الضوئي لهذه النجوم هو في الواقع أضعف قليلاً (الضخامة المطلقة تتراوح بين زائد نصف وزائد واحد) .

إن ما أدخله باد سنة 1944 من مجموعات تجومية فئة أولى وفئة ثانية كان من نتيجة توضيح مسألة تصنيف السيفيديات . فقد ظهرت السفيديات الكلاسيكية ذات الحقبة الاعلى من يوم واحد مجرد أشياء من الفئة أولى مع علاقة حقبة ـ لمعان مختلفة ؛ ان هذه الكواكب تأهل صحن المجرة وهي تتمحور في أذرع الحلزون ؛ وهي تشكل ما يسمى بنظام تحتي مسطح . أما المتغيرات من نمط ر . ر . ليراي ، وكذلك متغيرات الكتلة وكذلك السيفيديات غير الطبيعية ، ذات الحقبة الأعلى من يوم واحد (نمط و . فيرجينيس) هي بالعكس مجرد أشياء من الفئة II ؛ وهذه المتغيرات تأهل نواة المجرة وهالتها ؛ وهي تنتمي إلى نمط كروي تحتي . ان السيفيديات غير الطبيعية لها علاقة حقبة ـ لمعان مختلفة عن علاقة السيفيديات الكلاسيكية ؛ وهي تتوافق مع علاقة النجوم من نمط ر . ر . ليراي . إن وجود المتغيرات السريعة من نمط ر . ر . ليراي من الفئة واحد لم يتقرر بصورة نهائية بعد .

إن الكتل المجرية من الفئة واحد (كتل مفتوحة) اعتبرت لمدة طويلة كتشكيلات تكون فيها المتغيرات غائبة ـ إذا استثنينا المزدوجات ذات الكسوفات ـ وذلك تعارضاً مع الكتل الكروية التي تحتوي منها الكثير أحياناً . ومنذ 1925 ، تكهّن ب . دوا بوجود سيفيديات في بعض الكتل المجرية ولكن البرهان عليها لم يقدم إلا في سنة 1955 من قبل ج . ب . ايرفين ، ود . و . ن . ستيبس : و . ساجيتاري في م 25 ؛ وس . نورما في ن . ج . ك . 6087 . ان هذا الاكتشاف مهم جداً لأنه يتيح تحديداً مستقلاً للعلاقة حقبة ـ لمعان ، كون المسافة في الكتلة قد تتحدد بدقة بواسطة الفوتومتريا . ان المتغيرات ت . توري هي أيضاً موجودة في الكتل المجرّية ، وخاصة في الكتل

المجتمعة إلى سدم (مثلاً : ن . ج . ك . 2264) .

إن طيف السيفيديات متغير : في الذروة تكون النجمة من نمط أقل تقدماً مما هي في الحضيض . وقد أثبت باريناغو علاقة احصائية بين النمط الطيفي والحقبة مرتكزاً على دراسة 248 سيفيدية في كاتالوغه (1948) : ان الطيف الوسط في ر . ر . ليراي (A 6) مستقل عن الحقبة ؛ ان طيف السيفيديات الكلاسيكية الوسط يصبح أكثر فأكثر تقدماً ، من ف . 6 إلى ج . 8 ، كلما طالت الحقبة . ان السيفيديات II (و . فيرجينيس) تتبع قانوناً مماثلاً انما مع فارق يعادل 0,7 ، طبقة تقريباً باتجاه الأنماط الأقل تقدماً (آ . هـ . جوري ، 1949) .

إن التغيرات الدورية للسرعات الشعاعية المرصودة في السيفيديات قد أوحت ، في بداية القرن ، بالفرضية القائلة بأن هذه الكواكب هي مزدوجات مطيافية . وبعد اكتشاف الطبيعة فوق العملاقة للسيفيديات ، من قبل أ . هرتز سبرونغ وهـ . ن . راسل سنة 1913 ، بدت هذه النظرية محالة : فقد اقتضت ان يدور المرافق داخل النجمة الرئيسية أو الام (هـ . شابلي ، 1914) . ان تغيّر بريق السيفيديات أصبح اليوم واضحاً ومفسّراً بواسطة نظرية النبضات .

المتغيّرات ذات الحقبة الطويلة . ـ معرف حوالي 4000 نجمة من طبقة المتغيرات ذات الحقبة الطويلة (ميراسيتي) . وهي تتميز بحقب تتراوح عموماً بين 200 و 400 يوم ، واتساعات كبيرة جداً من حيث التغير : 4 إلى 7 ضخامات في المجالين البصري والفوتوغرافي . الا ان القياسات الراديومترية الشعاعية هي أضعف من ذلك بكثير : اتساع من 1,1 ضخامة راديومترية في حالة ميراسيتي . إن المتغيرات ذات الحقبة الطويلة نجوم حمراء تنتمي إلى الطبقات الطيفية م M ، ر R ، نN أو س S ومعظمها ذات خيوط بث (سلسلة بالمر ، حديد حيادي أو مؤين ، الخ) . وقد ادخلت الطبقة S من قبل ب . و . ميريل سنة 1922 ؛ وهي تتضمّن نسبياً القليل القليل من النجوم وقد عثر ل . كمبل ومس آ . كانون وهما يدرسان في سنة 1928 التوزيع بين مختلف الطبقات الطيفية على النتائج التالية :

م M	أشرطة من أوكسيد التيتان (TiO) ..	15 %	حقبة وسط	216يوماً
م ي Me		75	حقبة وسط	298يوماً
س ي Se	أشرطة من أوكسيد الزيركونيوم (ZrO) ...	4,8	حقبة وسط	367يوماً
ن Nأو R	(نجوم مكربنة)	5	حقبة وسط	379يوماً

في سنة 1919 رصد ميريل خيوطاً سديمية في طيف ر . اكواري R. Aquarii ولاحظ ان النجمة الحمراء لها رفيق أزرق متغير أيضاً ، والنجمتان تقعان ضمن غلاف من السديمية . وسمى هذا الاشتراك بعبارة « النجوم المتكافلة » . وهناك دراسة مفصلة جداً لطيف ميراسيتي ، نشرت سنة 1924 من قبل جوي Joy ، تؤكد ان خيوط البث تدل على سرعة شعاعية اقترابية بالنسبة إلى خيوط الامتصاص .

إن تغيرات الحقبة كانت موضوع بحوث دقيقة من قبل ت . إ . سترن ول . كمبل سنة 1937 : شملت 377 نجمة رُصدت بصورة جيدة ، وتغيرات الحقبة فيها هي ، في كل الحالات تقريباً تموجات احصائية خالصة ؛ وبالنسبة إلى 5 نجوم فقط تبدو التغيرات في الحقبة مقررة تماماً .

إلى هذه الطبقة الكبرى يمكن ربط المتغيرات الأخرى الحمراء : حقب طويلة في الاتساع أقل من 2,5 ضخامة ، نصف منتظمة وذات تغيرات دورية إلى حد ما ومتغيرات غير منتظمة . وانشئت الطبقة ر . ف . توري سنة 1912 من قبل س . اينيبو Enebo . وهذه النجوم ذات تغيرات قليلة الانتظام بحيث يستحيل رسم منحنى ضوئي وسط لها ، ان الدراسات السبكتروغرافية ذات التشتت الكبير دلت على مشابهات مع السيفيديات من نمط و . فيرجينس .

المتغيرات البركانية ـ ان المتغيرات الانفجارية من نمط و . جيمينورم W. Geminorum أو س . س . سيغني S. S. Cygni يصيبها ، على فترات زيادات مفاجئة في البريق تتجاوز أحياناً 4 ضخامات ، ثم تعود بعدها ببطء إلى بريقها الأول . ان مدات الذروة قصيرة بالنسبة إلى الفترات التي تفصل بينها . والدراسة الاحصائية لكل أرصاد س . س . سغني منذ اكتشافها سنة 1896 حتى سنة 1933 من قبل ستيرن وكمبل (1934) تدل على وجود علاقات مفيدة بين أهمية الذروات ومدة الفترات . وسنداً لقياسات السرعة الشعاعية بالنسبة إلى حضيض اللمعان ، استنتج جوي ، في سنة 1955 ان س . س . سيغني كانت نظاماً مزدوجاً ذا أمد قصير جداً (0,276 يوماً) . وذكر ر . ب . كرافت سنة 1961 ان أربعاً أخرى من المتغيرات في هذه الطبقة هي أيضاً ثنائيات ، مما يقوي الفرضية القائلة بأن كل المتغيرات من النمط و . جيمينورم هي ثنائيات مطيافية . والضخامة المطلقة لهذه النجوم التي يقارب عددها المئة ما تزال موضوع جدل .

واعتبرت آ . ي . اكواري لمدة طويلة كمتغير ذي أمد طويل ، ولكن في سنة 1938 ، لاحظ أ . زينر تزايدات سريعة في البريق تبلغ عدة ضخامات واقترح تعريف هذه النجمة مع المتغيرات من نمط و . جيمينورم ، وفي سنة 1943 بين جوي ان طيفها يشبه طيف س . س . سيغني ، في حالة الحضيض ، وقرر سنة 1954 طبيعتها المزدوجة . ويمكن تقريب المتغيرات ز . كاميلو بارداليس Z. Camelopardalis التي تتشابه شبهاً كبيراً في منحنى الضوء والطيف ، من طبقة و . جيمينورم .

إن النجوم من طبقة ر . كورونابوراليس Corona Borealis تتميز ببريق ثابت إلى أقصى حد ، وضخامة التغيرات الضوئية في حالات الحضيض أو الحد الادنى ، والمسافات التي تفصل بينها توزع بشكل كامل عشوائياً كما أثبت ذلك ستيرن سنة 1935 . واجريت دراسات مطيافية مفصلة جداً حول ر . كورونابوراليس من قبل جوي وم . ل . هوماسون منذ 1933 ، ثم سنة 1935 من قبل ل . برمان الذي عثر على غزارة كبيرة في الكربون في الفضاء ، وفي سنة 1949 ، خلال التناقص الضوئي والحضيض من البريق من قبل ج . هـ . هربيغ . وهناك محاولة لتأويل تغيرات البريق اجريت من قبل ج . و . كييف سنة 1939 .

إن الطبقة الاقرب إلى التنافر في المتغيرات ر . و . أوريغا R. W. Aurigae انشئت من قبل باريناغو سنة 1932 ، الذي نظر بصورة رئيسية إلى الصفات الفوتومترية . انها ، بالعكس ، معايير مطيافية تلك التي تلعب دوراً حاسماً في التعريف الذي قدمه جوي سنة 1945 بالنسبة إلى المتغيرات ت . توري ذات الصفات المماثلة

إن هذه الاخيرة هي متغيرات قزمة غير منتظمة واقعة في سدم مظلمة ؛ وهي ذات أطياف ذات خطوط بث . وسنداً لـ ب . ن . كولوبوف (1955) ان أكبر قسم من متغيرات ر . و . أوريغا تنتمي إلى اتحادات ت ؛ انها نجوم شابّة جداً . ومع المتغيرات « هربيغ ـ هارو » التي اكتشفت سنة 1953 في سديم اوريون ذات هـ الفا H ∝ في البث ، فهي تشكل مجموعة من النجوم التي تثير الفضول والاهتمام بشكل خاص .

المستجدات ـ هناك أكثر من 150 نجمة جديدة قد اكتشفت في مجرتنا (ك . باين ـ كابوشكين ، 1957) . واكثرها شهرة هي : نوفابيرسي ، 1901 ؛ نوفا أكيلا ، 1918 ؛ نوفا سيغني ، 1920 ؛ نوفا (د . ك .) هركولس ، 1934 .

إن توزّع المستجدات المجرية قد درسه د . ب . ملك لولن (1936 و1945) وي . م . كوبيلوف (1955) وباين كابوشكين (1957) : ان المستجدات تظهر في اتجاه الوسط المجري ؛ وهي تأهل أيضاً تصف نظام من التسطح الوسيط وتبدو بالتالي واقعة بين الجمهورين الكلاسيكيين واحد واثنين اللذين قال بهما باد . في سنة 1936 نشر ملك لولن Mc Laughlin منحنى ضوء رسيمي يتلاءم مع غالبية المستجدات .

وقد رصد أكثر من 40 مستجدة في م 31 (هـ . ش . ارب ، 1956) وفي بعض المجرات الأخرى المجاورة : غيوم ماجيلان ، وم 33 . ان دراسة المستجدات من م 31 ، قد مكن آرب من ايجاد علاقة بين الضخامة المطلقة في الذروة وسرعة التقهقر : فالمستجدات السريعة جداً ، والسريعة والبطيئة تبلغ على التوالي الضخامات المطلقة المتوسطة : 8,3 - ، 7,3- و6,1 - . وكانت البحوث المطيافية المتعلقة بالمستجدات عديدة وتفسيرها أكثر فأكثر وضوحاً (ملك لولن ، 1937-1942) . واليوم أصبحت عملية انفجار المستجدّات معروفة بشكل عام .

المستجدّات الفائقة ـ منذ سنة 1895 وحتّى 1920 ، جرى إكتشاف اثني عشرة مستجداً في مجرّات متنوّعة ، دون ملاحظة ومعرفة صفتها الحقيقية بوضوح ، في حقبة كانت فيها الطبيعة خارج ـ المجرية لهذه السدم ، ما تزال موضوع نقاش . وإلى هـ . شابلي تعود الأولية في التعرف ، سنة 1917 ، إلى أن المستجدات قد تنتمي إلى طبقتين متمايزتين تماماً : المستجدات الطبيعية أو العادية والمستجدات الخارقة ، والفروقات في الضخامة المطلقة عند الذروة تبلغ معدل 8 إلى 10 . ان المستجدات البراقة التي رصدت في النظم الخارجية هي في الحقيقة مستجدات خارقة . وبين 1920 و 1933 تم اكتشاف أربعة أخرى من هذه الاشياء . وابتداءً من سنة 1936 قام ف . زويكي Zwicky بالبحث في 175 حقلاً صورها بشكل منهجي بواسطة تلسكوب شميدت ذي الـ 45 سنتم والمركز حديثاً في جبل بالومار ؛ وفي ما بين 1936 و 1941 تم اكتشاف 18 مستحدثة خارقة ، وأثبت زويكي ان التواتر الوسطي هو بمعدل مستحدثة عملاقة في كل مجرة وبخلال كل 430 سنة .

وهناك نمطان من المستجدات الخارقة تعرف عليهما ر . مينكوسكي سنة 1940 : النمط واحد الذي يضم الاشياء الاكثر اضاءة ($M_{pg} = -18$) والنمط اثنين ($M_{pg} = -15$) ، وأطيافها

مختلفة بشكل جذري . ان الدراسات المطيافية لهذه الاشياء قلما عولجت سنة 1937 ، وهو تاريخ حصل فيه مينكوسكي وهوماسون على سلاسل جميلة من أطياف عملاقتين من النمط واحد اكتشفت في ي . س . 4182 ون . ج . س . 1003 .

إن طيف س . ن . 1960 (1960 S. N) في ن . ج . س 4496 N. G. C المرصودة من قبل ج . دوفي ود . شالونج والآنسة م . بلوش ، يشبه بقوة طيف س . ن . لسنة 1937 الذي ظهر في ي . س 4182I. C . إن المستجدات الخارقة من النمط الثاني تبدو ذات أطياف شبيهة بأطياف المستجدات العادية ، مع سرعات انتشار من عيار 5000 حتى 10000 كلم/ثانية . وبعد أكثر من عشرين سنة من البحوث ، لم يكن بالامكان تأويل أطياف المستجدات من النمط الأول .

إن السديم المذنب ، سديم كراب (م 1 = M. 1) ، بقية المستجدة العملاقة المجرية من المرتبة 1054 ، كان موضوع دراسات مفصلة قام بها بآدومينكوسكي (1942) ؛ وقد تم التعرف عليه كمصدر اشعاعي زخيم من قبل ج . ج . بولتون J. G. Bolton وك . س . ستانلي سنة 1949 ؛ ان اشعاعه ضمن المجموعة المتصلة المرئية ، شديد التكثف .

X ـ المجرة ـ المادة فيما بين النجوم

بالنسبة إلى علماء الفلك من القرن التاسع عشر ، كان الفضاء بين النجوم فراغاً من المادة كاملاً ؛ واكتشاف الذرات ، والخلايا وحبيبات الغبار في الفضاء هو أحد المكتسبات الكبرى في مجال الفيزياء النجومية في القرن العشرين .

إن الارصاد الأولى لهذه المادة بين الكواكب يعود تاريخها إلى مطلع القرن . ولكن هذه الوقائع كانت تصدم الافكار التي كانت سائدة ، وجرت وراءها تغييرات كبيرة في معرفة مجرتنا ، حتى انها احتاجت إلى ثلاثين سنة لكي تفرض نفسها .

السدائم المظلمة في المجرة ـ إن هذه الاكتشافات ترتبط ، كما هو الحال غالباً في علم الفلك ، بالتقدم التقني الكبير . وأول رصد من ي . بارنار E. E. Barnard (1857-1923) الذي كشف عن سُدُم مظلمة تحمل اليوم اسمه . وقد دلت صور فوتوغرافية التقطت في كاليفورنيا ، في أواخر القرن التاسع عشر ، بواسطة شبحية ذات قطر من عيار 15 سنتم ، ان بعض الاقسام اللامعة في درب التبانة تتضمن مناطق سوداء ، خالية عملياً من النجوم . وكل شيء يمضي كما لو انه قد تم محو النجو في بعض الأماكن . ولاحظ م . وولف ، سنة 1890 ، إن السديم الجميل البراق « اميركا الشمالية » مقرون بغيوم مظلمة ، ولكنه لم يفهم طبيعة هذه الظاهرة . وتمت متابعة هذه البحوث في جبل هاملتون ، وفي مرصد يركس ؛ ونشر بارنار كاتالوغات متنوعة لسدم مظلمة . وآخر كاتالوغ له نشر سنة 1927 بعد موته احتوى على 349 سديماً .

إن طبيعة هذه السدم لم تعد يومئذ موضع شك . انها غيوم مظلمة ، تشبه الغيوم في فضائنا ، وهي تحول دون رؤيتنا الكواكب الأبعد . والنظرية الأخرى ، انعدام وجود لنجوم فعلاً ، في

بعض ارجاء كوننا ، تؤدّي ، فعلاً ، إلى اعتبار هذه الفراغات ، كدهاليز مؤدية بالضبط إلى الراصد الارضي . ان هذا البناء أرضي المركز ، لكونه كـان قليل الاقناع حتى انه ليثير العجب ان نلاحظ كم عانى بعض الفلكيين ، ومنهم بارنار بالذات ، من أجل اتقبل هذا الوجود للغيوم المظلمة .

وقد أزيلت الشكوك الأخيرة بفضل الصور الفوتوغرافية للسدم الحلزونية التي حصلت سنة 1918 على يد هـ . د . كورتيس بواسطة العاكس كروسلي في مرصد ليك . ان مشابهة هذه الكواكب لعالمنا المحلي كانت مقبولة عموماً ، وظهور الغيوم الكبرى الماصة التي تقطع الطريق على بعض من هذه الحلزونيات ، أفهم ووضح الطبيعة الحقة « لغيوم بارنار » .

إن دراسة السدم الغازية قد انجزت تقدماً مهماً جداً . ان طبيعة سديم أوريون كانت معروفة منذ 1864 ؛ وأول طيف لهذا الكوكب بيَّن ان الامر يتعلق بغاز لماع مضيء . ولكن ، في سنة 1912 ، بيَّن و . م . سليفر Slipher ان السديمية التي تحيط بالثريات لها صفة أخرى ، وان ضوءها يمكن ان ينتج بسهولة عن انتشار جزئيات من أضواء الكواكب الاكثر بريقاً . ان نظرية هـ . ن . راسل (1877-1939) ، التي ثبتت بسرعة بفضل أ . ب . هوبل Hubble (1889-1953) بينت ان النجوم الاكثر حرارة ، من النمط الطيفي الاقل تقدماً من B3 ، كانت محاطة بسدم ذات بث ، وان الاقل حرارة محاطة بسدم ذات انتشار . وبالنسبة إلى الأولى ، يثير الاشعاع فوق البنفسجي في النجوم ، ذرات الفضاء المجاور ؛ وبالنسبة إلى الاخريات ، يكون الاشعاع ضعيفاً جداً ، وعندها يظهر الانتشار فقط . إن الغيوم المظلمة تبدو لنا عندئذٍ كسدم غير مضاءة . ان الحسابات الاكثر دقة ، حديثاً ، أيدت هذه الآراء في أدق تفاصيلها . وقبل عرض مختلف الفرضيات الصادرة حول طبيعة الجزئيات الماصة ، نذكر أولاً اكتشافاً آخر مهماً جرى في بداية هذا القرن .

الوسط ما بين النجوم ـ سنة 1904 اجرى ج . ف . هارتمان قياسات دقيقة جداً حول السرعة الشعاعية للنجمة اوريونيس (Orionis δ) التي ذكر تأرجحها من قبل هـ . ويلاندر . فأكد هارتمان انها نجمة مزدوجة مطيافية تترجم حركتها حول مركز الجاذبية ، بتغييرات في السرعة الشعاعي التي تتأرجح بين 65 – و 135 + كلم/ثانية ، مع خفية ذات 5,7525 يوماً . وكل الخطوط تتأرجح هكذا حول مواقعها المتوسطة ، الا الخط 3934 Å في الكلسيوم ، الذي يبقى جامداً ، والسرعة المقابلة تساوي 16 كلم/ثانية وشرح هارتمان حالاً هذا الخط الدقيق جداً بفعل الامتصاص في غيمة من الكالسيوم واقعة بين النجمة وبيننا . وذكر انه لوحظ سنة 1902 ، ان طيف نوفا التي ظهرت في فرساوس Persée ، يتضمن ، زيادة على خطوط البث العادية ، نفس هذا الخط الرفيع وخطاً آخر ، واقعاً حوالي الخط 3969 Å ، كانا ينفصلان ويبرزان بوضوح .

هل ان هذا التقارب مع نجمة متفجرة ، ربما تصدر غمامة من المواد ، هو الذي جرّ الكثير من الفلكيين الى الاعتقاد بأن هذه الغيمة مرتبطة بالنجمة ، وتحيطها بغشاء صغير ، أو هل ان هذا الخوف الذي يعتري العلماء من خشية التحديد هو السبب ؟ ومهما يكن الامر ، كان لا بد من مرور ما يقارب من عشرين سنة حتى تتوضح الطبيعة بين النجوم ، الحقيقية لهذا الامتصاص . وأيضاً في سنة 1920 كان ر . ك . يونغ يدافع بشدة عن الطبيعة فوق النجومية لغيوم الكالسيوم ، وكان

يظنها مختصة بالنجوم المزدوجة الطيفية . في هذا الوقت ، في سنة 1919 اكتشفت الآنسة هيغر Heger الخطين بين النجوم للصوديوم الواقعين في الحيّز الأصفر . ولم تتوضّح هذه المسألة قبل 1920 ، عندما نجح أ . س . ادينغتون (1882-1944) ، اثناء محاضرة القاها أمام الجميعة الملكية ، في تفصيل وتوضيح الارصاد ، وفي استخلاص الكثافة النووية المتوسطة للفضاء ، بذرات الكالسيوم ، وقد قدر هذه الكثافة بما يساوي 10^{-24} غرام في السنتم^3 .

وبفضل التلسكوبات القوية جداً المجهزة بمطاييف تشتيتية اكتشف الفلكيون العديد من الخيوط الاخرى بين الكواكب ، وماهوها بذرات البوتاسيوم والتيتان المؤين والحديد الحيادي . ويضاف إلى هذه الذرات وبسرعة الجزيئات ، CH ، CN ، CH^+ التي اكتشف مك كيلار حوالي عشرة خطوط من خطوطها . إلى هذه اللائحة يجب اضافة خطين لم يفسرا ، وثمانية شرائط غامضة من منشأ غير معروف . ان غالبية هذه الخطوط قد اكتشفت سنة 1937-1941 في جبل ولسون من قبل و . س . آدامس ودونهام . ان رقة الخطوط بين الكواكب التي تلفت كل الناظرين بالمقياس لم تخفَ على هارتمان . ان هذا المظهر وحده قد أتاح اليوم تحديد الخطوط بين النجوم عندما تظهر في الاطياف ذات الخطوط غير الواضحة . ان رقة الخطوط تُفسر بواسطة فيزياء الوسط بين النجوم . هذا الوسط بدا طويلاً كوسط متواصل إلى حين أتاحت أرصاد جرت بواسطة مقياس مسنود في جبل ولسون ، تحليل الخطوط بين النجوم ، بالنسبة إلى بعض النجوم ، إلى عدة مكونات : وكل واحد من هذه المكونات يتوافق مع غيمة تنتقل بسرعتها الخاصة أثناء حركتها داخل المجرة ، ان مناقشة الملاحظات قد أتاحت لعلماء الفيزياء النجومية أن يكوّنوا فكرة واضحة عن هذا الوسط بين النجوم . ان الذرات تكون في أغلب الاحيان مؤيّنة ، ولكن الشحنات الايجابية يقابلها وجود الكترونات في حين يكون الوسط حيادياً من الناحية الكهربائية .

وقد طرحت فرضية تقول بأن الامتصاص بين الكواكب يمكن أن يُفسر ببساطة بفعل انتشار الضوء بواسطة الذرات والجزيئات . ولكن هذا التفسير لا يتوافق مع العديد من الوقائع . ورغم ان الغيوم المظلمة قد بينت ان المادة الماصة ليست موزعة بشكل منسق ، فإن الفلكيين قد اضطروا في بادىء الامر ، ولعدم وجود ما هو أفضل ، إلى قياس الامتصاص ضمن فرضية التوزيع المنسق الموحد . وقد بينت الجداول - جداول الدائم خارج المجرات - ان أياً من هذه النجوم غير موجودة بقرب سطح درب التبّانة . وقد فسر نقاش دقيق هذه الواقعة بوجود طبقة ماصة سماكتها عدة مئات من البارسكس ذات الامتصاص بحيث ان شعاعاً من الضوء مجتازاً لمجرتنا ، اجتيازاً عامودياً فوق سطحها ، إلى جوار الشمس ، يخسر 35% من طاقته . وقد قدم ر . ترامبلر (1886-1956) تقديراً دقيقاً للامتصاص ضمن مسافة محددة ، ونشر سنة 1930 دراسة مفيدة لكتل النجوم في مجرتنا . ولما كانت النجوم الاكثر بريقاً في الكتل ، من ذات الطبيعة ولها بالتالي نفس البريق الذاتي ، فإن قياس بريقها الظاهر يتيح حساب مسافتها وفقاً لقوانين الفوتومتريا . ان هذا الحساب حمل ترامبلر إلى الوصول لنتيجة غريبة : ان الكتل النجومية لها قُطر تطول كلما بعدت المسافة . ولتفادي هذا الاستنتاج ، اضطر ترامبلر إلى الافتراض ان مسافاتها هي غير صحيحة ، وإلى الافتراض بأنه يضاف إلى تدني البريق بسبب مربع المسافة ، يضاف امتصاص موحد ، على الاقل

على الصعيد الاحصائي . وكان المعدل المتوسط للامتصاص المقترح ـ يساوي 0,67 ضخامة في كل كيلو بارسيك ـ قد أتاح ازاحة الصعوبة . ان قيمته ، المؤكدة بكل القياسات اللاحقة ، قوية جداً : فخلال مسار طوله 1100 بارسكس في الفضاء يفقد الشعاع الضوئي نصف طاقته .

ان الامتصاص الذي قاسه ترامبلر في حال الضوء الازرق ، يختلف باختلاف طول موجة الضوء المختار . ان نظرية الانتشار التي قال بها مي Mie والتي نشرت سنة 1908 بينت بأن قانون التغير يتعلق أساساً بقطر الجزئيات الماصة . وبالنسبة الى جزئيات كبيرة جداً يكون الامتصاص هو نفسه بالنسبة إلى كل الاشعاعات في حين ان تركيب الضوء لا يتغير . وبالنسبة إلى جزئيات صغيرة جداً مثل الذرات والجزيئات يكون انتشار الضوء اكثر أهمية في الازرق مما هو في الاحمر (تغير يساوي $1/\lambda^4$) والضوء الذي يجتاز الوسط الماص يصبح أكثر احمراراً . وفيما خص الجزئيات ذات القطر الوسيط يجب أن يكون الاحمرار أقل قوة ، ومعرفة قانون التغير يجب أن تتيح قياس قطر الجزئيات . هذه الاعتبارات تفسر لماذ تعلق العديد من الفلكيين في اثبات ثم في قياس هذا الاحمرار بين النجوم ، ان القياسات العديدة التي حققت بواسطة تقنيات اكثر فأكثر دقة ، تقنيات فوتوغرافية (د . شالونج ومساعديه) أو تقنيات تصوير كهربائية (ج . ستيبنس وآ . ي ويتفورد) قد أتاحت التأكد من احمرار النجوم البعيدة ثم القول ان قانون التغير يكمن في $1/\lambda$.

ولتفسير هذه النتائج تخيل شالن Shalén جزئيات معدنية من الحديد . وحصل فيما خص قطرها على قيم تقع في حدود 0,1 ملم . ان الطبيعة المعدنية للكرويات الماصة ليست مقنعة والعديد من المنظرين وخاصة هـ . ك . فان دي هولست Van de Hulst ، اثبتوا ان حبيبات من الغبار العازل يمكن أن تُفسر قانون الامتصاص الملحوظ . وفي كلتي الحالتين نجد كثافة للفضاء تعادل 10^{-26} غرام في السنتم^3 .

ان مسألة الامتصاص في الفضاء بين النجوم ما تزال معقدة بحكم ان ضوء بعض النجوم البعيدة ما يزال مكثفاً بصورة جزئية .

من المعلوم ان الضوء هو شعاع كهرمغناطيسي ذو ذبذبات اعتراضية . وبالنسبة إلى الضوء الطبيعي ان القيمة الوسط لاسقاط الذبذبة فوق اتجاهين متعامدين فيما بينهما ومتعامدين على الشعاع الضوئي ، هي واحدة ولكن الفلكيين الاميركيين و . أ . آ . هيلتنر Hiltner وج . آ . هال قد لاحظوا كل على حدة ان بعض النجوم هي ذات كثافات استقطابية تعادل عدة وحدات في المئة . وعلى العموم ، ان الذبذبة المميزة الخاصة (السهم الكهربائي عند فرينل) ، توازي سطح المجرة . ومن المفيد ان نلاحظ أن هذا الاكتشاف غير المتوقع أبداً ، قد تم اثناء البحث عن الاستقطاب الذي استنتجه نظرياً س . شندراسيكار ، بالنسبة إلى النجوم المزدوجة ، بخلال كسوف جزئي .

ان هذا المفعول الذي لم يتوضح بعد بشكل دقيق ، يبدو مرتبطاً بالامتصاص الانتقائي ، من قبل بلورات موجهة بفعل الحقل المغناطيسي العام السائد في مجرتنا .

ان الامتصاص بفعل الجزئيات الغيومية ، وعموماً بفعل الفضاء بين النجوم ، هو ظاهرة

مهمة جداً وقد أدى تجاهله بـالفلكيين في بدايـة القرن إلى تجـاهل ابعـاد مجرتنـا . وهذه الـظاهرة بالذات تمنعنا اليوم من معرفتها معرفة تامة . ولحسن الحظ ان اشعاعات المجال الهرتـزي هي أقل تعـرضاً لـلامتصاص وهي تتيح لنا استكمـال معلومـاتنـا في المجـالات التي لا تـوجـد فيهـا طـرق ابصارية .

XI ـ السدائم خارج المجرة

الاكوان الجزر ـ في بداية هذا القرن كان الفلكيون يعرفون العـديد العـديد من الـسـدائم وقد وضع ج . ل . أ . درايز Dreyer (1852-1926) في سنة 1888 ، الكاتـالوغ العـام الجديـد ، للسدم وللكتل النجومية (ن . ج . ك) . ومع الـلائحتين الاضافيتين اللتين نشـرتا سنـة 1895 و 1908 فقد صنف مـا يقارب من 15 الف سـديماً وكتلة . ومن بين السـدم ، لا بد من التمييـز بين الـسـدم ذات الطيف المنبث ، وهي سدم زرقاء جداً على العموم ، والسدم البيضاء ، وهو تمييـز سهل . والأولى أمكن تفسيرها باعتبارها سدائم غازية ، ولكن طبيعة السدائم البيضـاء ، بأشكالها الغريبة الحلزونيـة والابرية ، ظلت لغزاً . ان فلاسفة العصور الماضية قد وضعوا جيداً فرضيـة تقول ان هـذه الكواكب كانت « أكواناً ـ جزراً » حقيقية مشكلة من آلاف النجوم وتشبه درب التبانـة المعروف . ولكن الامـر يتعلق هنا بافتراضات خالصة غير مثبتة وغير مرتكزة على وقائع علمية .

في سنـة 1925 اضطر معـظم الفلكيين إلى الافتراض بـأن هذه الـسـدائم هي انظمـة مُشـابهـة لمجرتنا ولكن هذه النتيجة لم تحصل دون منازعات كانت حادة في أغلب الاحيان .

وهناك عدد من التلسكوبات الكبرى قد شغلت في بداية هذه القرن ودشن تلسكوب كروسلي سنـة 1908 في مرصـد ليك Lick فـوق جبل هـاملتـون ثم دخلت في الخـدمـة في جبـل ولـسـون : تلسكوب من عيار 1.52 متراً سنة 1908 ، وتلسكوب آخر من عيار 2.54 سنة 1918 . ان هـذه الآلات الجميلة قد أعطت محصولاً خصباً من الوقائع الجديدة التي أتاحت حل هذه المسألة .

وكشف الصور الفوتوغرافية الحاصلة في ليك وفي جبل ولـسون عن بنية حلزونيـة للعديـد من السدائم ، وكذلك عن الغيوم الماصة التي تتميز بها السدائم المستطيلة .

ان هذه الكلشيهات بيّنت أيضاً تعددها الذي لا حصر له . واذا كان أ . آ . فاث E. A. Fath يقـدر ، في سنة 1917 عـدد السدائم التي يمكننـا تصويـرها بـ 160000 فـإن هـ . د . كورتيس رفـع العدد إلى مليون ثم شرح نتاجه الاكبر بفضل حسن نوعية آلته . لقـد أعلن هذا الفلكي أيضـاً انه لا وجود لفرق في الطبيعة بين الحلزونيات الكبرى مثل سديم اندروميـد ، والسدائم الصغيرة البيضاوية التي لا يبلغ قطرها 12" . ان الفرق بين المسـافات يكفي لتفسير قُطُرها ومظاهرها المتنوعة .

وبعيـد سنة 1912 تم الحصـول على الاطيـاف الاولى للسـدائم خـارج المجـرات ، وإذا كان البعض قد استنتجوا بـأن هذه الاطيـاف كانت متشـابهة مـع الطيف الـذي تعطيـه كتلة من النجـوم مماثلة للشمس ، فإنّ آخـرين أشاروا إلى نقص التعـارض بين هذه الأطيـاف وقالـوا أنّ الكثير منهـا كانت تظهر في بعض الاماكن خطوط الهيدروجين المبثـوثة . وكـان من المستحيل التبيين يقينـاً بأن

هذه السدائم البيضاء كانت كتلاً من النجوم . وظلت كل محاولات الحل بواسطة تصوير الاجزاء المركزية فوتوغرافياً بدون جدوى ؛ ان الاقسام الخارجية في الاذرع كانت تتفكك وتتحول إلى ضمم فسّرها بعض الفلكيين بأنها نجوم في حين رأى فيها آخرون ضمماً من مادة سديمية . الا ان هذه الاعمال قد اتاحت نشر سلسلة من الصور الفوتوغرافية الجميلة .

في هذه الاثناء ، وفي سنة 1917 اعلن ج . و . ريتشي ان كليشه حديثة للسديم ن . ج . ك . 6946 أظهرت نجمة جديدة . هذا الكوكب غير المرئي فوق الكليشيهات السابقة ، غاب من جديد فيما بعد . وقد أثار هذا الاكتشاف ضجة ، وعمد الفلكيون الذي يمتلكون كليشيهات قديمة للسدائم بتفحصها من جديد وبعناية . واستطاع هـ . د . كورتيس العثور على ثلاثة نجوم جديدة من العيارر 14 درجة وظهرت واحدة في سنة 1915 في ن . ج . ك 4527 وظهرت نجمتان سنة 1901 و 1914 في ن . ج . ك 4321 . ويضاف الى هذه اللائحة س . اندروميدا التي ظهرت في السديم الاكبر سنة 1885 ويضاف أيضاً لهذه اللائحة ز . سنتوري التي رصدت سنة 1895 من قبل فلامينغ قرب مركز ن . ج . ك 5253 وكان لهاتين النجمتين في ذروتهما الضخامة 7 .

وظن كورتيس ان هذه النجوم تشبه المستجدات المجرية واستنتج من مقارنة البريق ان السدائم البيضاء يجب أن تكون أكواناً جزراً شبيهة بنظامنا الخاص . وحفزت هذه النجاحات العديد من الرصاد فاكتشفوا في السديم اندروميد ثلاثة نجوم جديدة كانت ضخامتها قريبة من 17 في ذروتها ، وناقش هـ . شابلي بدوره هذه النتائج واستنتج انه اذا كانت النجوم الجديدة في اندروميد تشبه تماماً المستجدات الست والعشرين المعروفة يومئذ في مجرتنا ، فإن المسافة في اندروميد هي من مرتبة مليون سنة ضوئية ، كما ذكر ذلك أيضاً هـ . د . كورتيس . ولكن هذه النتيجة بدت غير مقبولة لدى شابلي ومن بين السببين الرئيسيين الذين أدلى بهما ، كان الاول يقول : بأن س . اندروميد يجب ان يلمع ببريق عجيب مثل مئة مليون شمس ، وهي فرضية بدت له غير مقبولة . والبرهان الآخر كان أقوى . فقد خطر لفلكي في مرصد ولسون هو « فان مانين » Van (1884-1946) Maanen وهو متخصص بالحركات النجومية الذاتية ، ان يقارن بين كلشيهات قديمة وحديثة أخذت للحلزونية الجميلة م . 101 التي تقع في برج الدب الأكبر (ثلاثة كلشيهات اخذت سنة 1899 ، 1908 و 1914 ، بواسطة العاكس كروسلي ، وكلشيهات اخذتا سنة 1910 و 1915 بواسطة تلسكوب من عيار 1.50 م في جبل ولسون) .

واستنتج من هذه المقارنة حركات ظاهرية لمختلف التكثفات في اذرع السديم . ان قياساته المتجانسة والتي نشرها تفصيلاً دلت على وجود تنقل في المجموع أو المجمل من عيار 0,01 ثانية في السنة . إلى هذا الانتقال يضاف تمدد خفيف ، وأيضاً دوران في المجمل في الاتجاه المعاكس لدوران عقارب الساعة ، ومدته 85 ألف سنة . وعند مسافة 45 دقيقة من المركز كانت الحركات الثانوية المرصودة تساوي 0,022 ثانية . ان هذه النتائج لم تكن تتلاءم اطلاقاً مع مسافة مليون سنة ضوئية ، لأن الحركات الظاهرة المرصودة كانت تتطابق مع سرعات خطية تقارب سرعة الضوء .

واستنتج شابلي من هذه النتائج التي حصل عليها فان مانين ان نظام مسييه 101 يجب أن

يكون اصغر بأربع مئة مرة من مجرتنا ، وانه يقع على بعد 32 الف سنة ضوئية . وفي هـذه المسافة يجب ان تكون النجوم المماثلة لنجوم مجرتنا ، سهلة الرصد . وبما انه لم يعثر على شيء منها استنتج شابلي بأن السدائم البيضاء كانت فعلاً منتشرة وان سرعة ضمائم المادة كانت من عيار الف كيلو متر في الثانية . ودام هذا الجدل . وفي سنة 1919 دخل ثالث في النزاع ، انه السويدي لك . لوندمارك الذي كان يقيم يومئذٍ في الولايات المتحدة ، وعاد إلى مناقشة مسألة سديم اندروميد مستخدماً الاكتشاف الجديد لـ 32 مستحدثة اضافية في هذه الحلزونية وبيّن انه اذا استبعدنا س . آند ، فان مجمل الارصاد يبدو متجانساً ويتيح عن طريق المقارنة مع المستحدثات المجرية ، تحديد ـ بالنسبة إلى سديم اندروميد ـ مسافة من 650 الف سنة يعادل بريقها برين مئة ألف مستحدثة عادية .

وتم الوصول إلى الطريق المسدود ، لأن فان مانين كان في هذا الوقت قد وسع نتائجه فأشملها سبعة سدائم واستطاع لوندمارك الحصول على اطياف تفصيلية للسديم م 33 من المثلث ، وبين انه إلى جانب السدائم الغازية المتميزة ، توجد أشياء لها نفس الأطياف التي للنجوم وماهي هذه التفصيلات مع النجوم الأكثر إضاءة في مجرتنا . وهذا ما أتاح له ان يعطي لـ م . 33 مسافة مليون سنة ضوئية . وهذا الحل القاضي بتحويل الأقسام الخارجية من السدائم البراقة إلى نجوم ناقشه خصوم الجزر .

وعاود لوندمارك من جهته قياس كليشهات م 101 التي أتاحت لفان مانين ان يعثر على الحركات الكبرى الخاصة . ورغم انه استعمل نفس الآلات للقياس فإنه لم يجد نفس النتائج فاستنتج عدم وجودالحركات الخاصة .

وكان لا بد من أرصاد ثابتة لترجيح رأي هـ . د . كورتيس ولك . لوندمارك نهائياً . ان أ . ب . هوبل (1889-1953) هو الذي أعلن هذا الاكتشاف بكتاب ارسله في أواخر كانون الأول سنة 1924 إلى مؤتمر الجميعة الفلكية الاميركية .

واعلن عن رصد وعن دراسة دقيقة لمنحنيات الضوء الصادر عن 22 نجمة متغيرة في م . 33 ، وعن 12 نجمة في م . 31 . ان هذه النجوم كانت من غير شك سيفيديات تشبه السيفيديات التي اكتشفت سنة 1910 من قبل الآنسة هـ . س . ليفيت في غيوم ماجلان . ان مظهر منحنيات الضوء لم يترك أي شك . وبيّن أنّ الحقب تتغير مع البريق كما هو الحال بالنسبة إلى سيفيديات مجرتنا ، وأعطت « العلاقة بين الحقبة والضوئية » التي قاسها حديثاً شابلي للسديمين مسافة تساوي 285 الف بارسكس واستنتج هوبل : ان اعظم الشك ربما يدور حول موقع الصفر من منحنى شابلي . ان هذه النتائج الموضحة والتي تشمل سدائم أخرى قد نشرت في السنوات التالية في استرو فيزيكل جورنال . وهذا الانجاز المدهش لم يتحقق الا بفضل التلسكوب الفخم من عيار 2,50 م في جبل ولسون . وأقفل النقاش : فقد بيّن كيف وكم يجب أن يكون الباحث حذراً من « الحس السليم » الذي لم يسمح بافتراض وجود بريق للمستحدثات العملاقة ، وبيّن أيضاً كل ضرر قد ينتج عن القياسات الخاطئة .

وكرس أ . هوبل وقتاً كبيراً لدراسة السدائم خارج المجرة . وتصنيفه لهذه الكواكب سنداً لاشكالها (1926) قد اعتمد بشكل عام .-وتتميز السدائم البيضاوية التي ليس لها بنية ظاهرة عن الحلزونيات التي تنقسم إلى طبقتين بحسب ما اذا كانت اذرع الحلزونيات ، خارجة مباشرة من النواة (النمط س) أو انها تنطلق من جذع (س . ب) . وبحسب أهمية الاذرع يضاف إلى الرمزين س . وس . ب الاحرف الصغيرة أ . ب . ت وتوجد أيضاً بعض السدائم غير المنتظمة التي لا يمكن تصنيفها .

وبخلال السنوات التالية جرت دراسات عديدة تفصيلية بواسطة تلسكوبات من عيار 2,50 م في جبل ولسون ومن عيار 5 في جبل بالومار . وأتاحت القياسات الفوتومترية تقدير عدد النجوم في هذه السدائم بمئات المليارات . ان قياس السرعات الشعاعية في مختلف نقاط السدائم قد أتاح معرفة كتلة الحلزونيات وثبت عدد نجومها وهناك مسألتان أثارتا الكثير من المصاعب أحداهما هو اتجاه الدوران في الحلزونيات ، وبدت هذه المسألة الآن محلولة : فالاذرع تلتف حول النواة كما يلتف الخيط حول البكرة . ولكن أوالية تشكل الاذرع الحلزونية بقيت غامضة ، رغم العديد من البحوث ومنها اعمال ب . لندبلاد .

اتساع الكون ـ ان أول قياس للسرعة الشعاعية لسديم ما قد جرى في أيلول سنة 1912 من قبل و . م . سليفر بالنسبة إلى السديم اندروميد حيث وجد أن سرعته الاقترابية هي 300 كلم في الثانية . ان مثل هذه القياسات شديدة الصعوبة بسبب قلة اللمعان الذاتي في السدائم خارج المجرات ، ولم يكن بالامكان توسيع اللائحة الا عندما تيسر للفلكيين استعمال مطاييف أكثر ضوءاً ، وشبحيات فوتوغرافية خاصة شديدة الفتحة . وفي سنة 1929 تمت معرفة 46 سرعة شعاعية : فقد لفت الفلكيون بضخامة قيمها الإيجابية ، انما صعب عليهم في بادىء الأمر تفسيرها .

وفي كانون الثاني 1929 وبعد نقاش واعٍ نجح أ . هوبل في تنظيم هذه المعطيات .

وقد حدد هذا الفلكي مسافات أربعة وعشرين من هذه السدم وبين ان كل شيء يجري كما لو كان المفعولان التاليان يتراكمان :

1 ـ ان الراصد المرتبط بمجرتنا ينتقل بسرعة 280 كلم في الثانية نحو نقطة صعودها المستقيم هو 18 س و 30 دقيقة وميلها 36 درجة (برج لالير la Lyre) .

2 ـ إلى هذه الحركة تضاف بالنسبة إلى كل سديم ، سرعة شعاعية ايجابية تتناسب مع المسافة ، وثابتة النسبة هي 500 كلم ثانية في كل مليون بارسكس (ثابتة هوبل ، قيمة الحقبة) . وفي لائحة السدائم التي استعملت في هذه الدراسة يقع سديم يمتلك سرعة شعاعية من 1090 كلم في الثانية ؛ واحدى السرعات الأربع والأربعين التي قاسها سليفر تبلغ 1800 كلم ثانية .

وكان من الطبيعي جداً ان يقترح هوبل قانونه لتحديد مسافات السدائم . وقد اقترن نشر قانون هوبل بمذكرة صدرت عن م . هوماسون الذي أعلن قيمة 3779 كلم/ثانية (كتلة الأسد)، وفي سنة 1960 تم تجاوز 100000 كلم في الثانية أي ثلث سرعة الضوء . ان أهمية هذه الاكتشافات

وتأثيرها على البحوث الفلكية سوف يشار اليها فيما بعد (راجع في الشأن دراسة ب . كودير في نهاية الفصل) .

وانتظر فلكيو جبل ولسون بفارغ الصبر تشغيل تلسكوب من عيار 5 م في جبل بالومار لمعالجة المسائل التي تتجاوز مكنات تلسكوب 2,50 متر . وقد تأخر استخدام التلسكوب الجديد بفعل الحرب العالمية الثانية ، فعمد و . باد Baade بالوسائل المتاحة إلى حل النواة والمرافقات البيضاوية في سديم اندروميد . وظن ان هذا الامر ممكن شرط استجماع الشروط التالية : ليل هادىء ، ومرآة متوازنة الحرارة ، ورصد في الضوء الاحمر من اجل تحديد الاضطراب الفضائي والانتشار الفوتوغرافي . وكان النجاح كاملا ، وتعتبر الكلشيهات الحاصلة من أجمل المستندات في كل علم الفلك .

ومنذ وضع تلسكوب هال الفخم ذي الخمسة أمتار موضع العمل تحت اشراف ي . س . بوين سنة 1949 ، باشر و . باد في معالجة مسألة أخرى انبثقت عن اكتشافه للمجموعات النجومية وهي : اكتشاف النجوم من « المجموعة II » في سديم اندروميد ، وخاصة المتغيرات من نمط ر . ر . ليرا . ان ضخامتها المطلقة القريبة من الصفر كانت معروفة ، ومسافة سديم اندروميد أتاحت وضعها في الضخامة 23 . ان نجوماً لها هذا البريق يجب أن تكون تماماً في متناول تلسكوب جبل بالومار . لكن باد كان عاجزاً عن العثور عليها . وبالمقابل ، عثر في حدود 22.5 على العملاقات الحمراء في « المجموعة II » . وسنداً للدراسات التي اجريت على الكتل الكروية تتميز هذه النجوم بضخامة تزيد بما يقارب 1.5 على ضخامة نجوم ر . ر . ليرا . وكان لا بد من انتظار هذه النجوم الاخيرة ذات الضخامة 24 . ولا يمكن تفسير هذه النتيجة الا بمسافة خاطئة في سديم اندروميد . وقد تحددت هذه المسافة عن طريق العلاقة بين الحقبة والاضاءة في السيفيديات . وكان لا بد من افتراض ان الصفر في هذه العلاقة واقع في غير محله . ان كل النتائج وخاصة اكتشاف ر . ر . ليرا في غيوم ماجيلان قد اثبتت هذا الاكتشاف .

نذكر بالكلام التكهّني الذي قاله هوبل . ثم ان هـ . مينور Mineur تنبأ هو أيضاً سنة 1944 بهذا التصحيح . ان القيمة النهائية للتصحيح لم تتقرر بعد بدقة . ولكنها من عيار 1.5 + مما يعني ضرب البريق في السيفيديات بأربعة وباثنين مسافات السدائم خارج المجرات . ان ثابتة هوبل تقسم على 2 وتصبح 290 كلم في الثانية في كل ميغابارسك (1952) . هذه المراجعة لجدول المسافات معقدة بكون سلم الضخامة غير مؤمن بعد بالنسبة إلى النجوم الضعيفة . وقد اقترحت تصحيحات أخرى ويبقى النقاش قائماً (راجع بهذا الشأن دراسة ب . كودير نهاية الفصل ، الفقرة XIV) .

وتعطي الدراسة للمصادر الضوئية خارج المجرات ، والمحدثة بواسطة لاقطات ذات مساحة كبيرة ، آمالاً كبرى . ان قوة التسرب أو الولوج في الراديو سكوب ربما كانت أعلى من قوة التلسكوب الفوتوغرافي (الفقرة XV من الفصل 2 دراسة ج . ف . دنيس) .

نلاحظ ان هذا التحليل للنتائج الحاصلة بخلال الخمسين سنة الأخيرة في دراسة السدائم

خارج المجرة يكشف عن تفوق مشهود للفلكيين الاميركان الذين استطاعوا ان ينشئوا اكبر المراصد في العالم وان ينشطوها .

XII ـ الفيزياء النجومية النظرية أو الاستروفيزياء النظرية

1 ـ وصف فيزياء النجوم

إن الرصد يقتضي دائماً عملاً تحليلياً ، فسلسلة الارصاد تقتضي عموماً التوليف أو التركيب . هذا التحويل في المعطيات الخام إلى لغة من طبيعة أخرى ، والفهم بفضل قوانين الفيزياء لهذه اللغة، هذا ما يسمى « بالنظرية » ، وبهذا المعنى الواسع جداً تنتمي الفيثاغورية والمحاولات التنجيمية الصينية وكذلك بحوث كبلر إلى النظرية . وما نسميه اليوم بالفيزياء « النظرية النجومية » قلما يكون له معنى أكثر محدودية : ان الامر يقتضي وصف ـ بعبارات الكمية الفيزيائية (درجات الحرارة ، التعادل ، الحركات ، الحقول المغناطيسية . . .) ـ مناطق النجوم ، والكواكب ، والوسط بين النجوم . . . من حيث تأتي الاشعاعات المرصودة . ويقتضي الامر أيضاً وصف الحركات الظاهرة للكواكب في اللغة ذات الابعاد الثلاثة الواضحة ، حول تطور الكون ، واشياء فردية تؤلف هذا الكون ضمن اطار نظرية فيزيائية موحدة (ولكن الفيزياء الحالية ليست إلاّ تقريباً أولياً كما هو الحال في قانون الجاذبية الكونية النيوتونية التي ليست إلاّ حالة خاصة بسيطة من حالات قانون الجذب الذي قال به انشتين) . من هذا الجهد في الوصف وفي الفهم ، يقتضي الامر اجمالاً استخراج القوانين التي تحكم التوازن والتطور والسلوك في الاشياء المدروسة .

إن طرق الفيزياء النجومية ـ النظرية ـ منذ قرن تقريباً قد تغيرت كثيراً ، وكلما تضخمت معرفتنا بالعامل الفيزيائي أصبحت هي بذاتها معقدة بشكل متزايد .

إن هذه الطرق تقتضي بالطبع تطبيق نظريات فيزيائية حول المطيافية ، كما تقتضي تأثيرات متبادلة بين المادة والضوء . وهي تستدعي أيضاً الاستعانة بالادوات الرياضية المعقدة ، وبالوسائل الحسابية العددية القوية ، وبشكل متزايد . وبالفعل ، وبخلال هذه السنوات انتقلت النظريات التحليلية أو التركيبية ، بصورة تدريجية ، من المستوى النوعي ، إلى مستوى كمي دقيق وبالغ . وأصبح عدد الأرقام المؤولة للمعطيات أكبر فأكبر . وقبل محاولة تحديد خطوط الفكر التي تطورت ، حتى بلوغ « الفيزياء النجومية الجديدة » التي أخذت تظهر الآن ، يجب ان نشير بوضوح إلى أنه لا توجد فيزياء نجومية نظرية بدون أرصاد فلكية كما انه لا توجد معطيات ونظريات فيزيائية بدونها أيضاً . ان الفيزياء النجومية النظرية هي جملة من الطرق ؛ ولكن الفيزياء النجومية العامة لها هدف واحد : معرفة وفهم الكون ضمن اطار قوانين الفيزياء .

نظرية الكرات الغازية ـ التوازن الحراري (1860-1910) ـ في سنة 1869 وفي مقال شهير طرح ج . هومر أولاً مسألة معرفة درجة حرارة الشمس ، والضغوطات في المناطق السطحية منها . وانطلاقاً من قياسات معروفة يومئذٍ عن الثبوتية الشمسية ومن قوانين تجريبية متعلقة باشعاعات الأجسام الحارة، المحددة القيمة، كيفما اتفق (ان قانون ستيفان يعود تاريخه إلى سنة 1879 فقط)،

حصـل على حـرارة T_0 = 30 000 درجـة كلفن . ولكن الـوسيلة الـوحيـدة التي اتيحت يـومئـذٍ للين Lane ، كي يعرف الكثافـة السطحيـة هي « ان يبني نموذجاً » للشمس : ودرس توازن غـاز كامـل مـوزع وفقاً لشكـل كروي ضمن حقله الانجـذابي الخاص ، مـع الافتراض بـوجود تـوازن حراري (فكل الطاقة منقولة بفعل حركات خلط ومزج) ، أي وجود علاقة عـارية من التبـادل الحراري بين الضغط ودرجـة الحرارة والكثـافة ، واستطاع أن يحسب (بالنسبـة إلى القيمـة $\gamma = \frac{5}{3}$ للنسبـة بين الحـرارات الذاتيـة ، المناسبـة مع الغـاز الوحيـد الذرة) التغيّـر ρ (r) و T (r) . وأوقف نموذجه عند $T = T_0$ ، وهي قيمة اعطته : $\rho = 0,00036$.

هذه المقالة المنشورة ، والمناقشات التي اجراها لين مـع سيمون نيـوكومب ولـورد كلفن كان لها وقع محفز ضخم . وبخلال العقود التاليـة ، تم درس التوازن في الكـرات الغازيـة بشكل أكثـر عمقاً من قبل آ . ريتر ، الذي وضـع فعلاً أسس النـظرية الـرياضيـة للبنية النجومية عبـر سلسلة من المقالات نشرت بين 1878 و 1883 . وفيها نجد خـاصة بيـان القواعـد التكامليـة المتعلقة بـالشروط الفيزيائية داخل مـركز النـجـوم ، وهي قواعـد تثبت ان درجة الحـرارة والضغط هما « على الاقـل متسـاويان » مـع بعض القيم المرتفعـة جداً ، تبعـاً للكتلة ولشعـاع النجم . ان طـرق وأفكـار ريتـر وخلفائه الأقربين انتهت في كتاب شهير وضعه ر . امدين ، تحت عنوان « الكـرات الغازيـة » الذي نشر سنة 1907 والذي يشكل تجسيداً لجهد ضخم في صياغة رياضية . هذا البناء وما فيه من نماذج متناسقة ، وما فيه بن مجـازات ، هو ذو محتـوى فيزيـائي محدد نـوعاً مـا . منـذ 1862 اقتـرح لورد كلفن ، أولاً فكرة فيزيائية اعتبرت مفتاحاً لهذه الاعمـال ، وهي فكرة « التـوازن الحراري » ، ولكن دون مناقشة فعلية طبّق هذه الفكرة في حالة الكتل الكروية ، ومثله فعل لين وخلفاؤه .

التوازن الاشعاعي . بحوث ل . شـوارتزشيلد (1900-1910) ـ انه من الفـرضية المعـاكسة ، فرضية التوازن « الاشعاعي » (كل الطاقة تنتقل بفعل الاشعاع ، من طبقة إلى طبقة في النجم) قـد انـطلقت البحوث حـول توزيـع الحرارات في الفضـاءات أي في القشرات المسؤولـة عن الاشعاع المرصود أو المنظور .

ورصـد الظلام في صحن الشمس أتـاح لشوستـر Schuster ، منـذ سنة 1902 ، ان يبين ان تصوير الفضاء ـ كما فعل لين ـ بواسطة درجة الحرارة وبواسـطة الضغط لم يعد صحيحـاً . وكان لا بد من نموذج للفضاء .

إن وجود قوانين بلانك وكيرشوف قد أتاح لـ ك . شوارتزشيلد ان يستفيد من أفكار شـوستر . وانطلاقاً من فرضية التوازن الاشعاعي أي حفظ دفق الشعاع في الفضاء ، حل مسألة تحول الاشعاع وبنى نماذج فضائية (1906) ، في حالـة يتحقق فيها التـوازن الحراري الـديناميكي المحلي (قـانون كيـرشوف محقق ومثبت) . تضمن المقـال الاساسي الـذي وضعـه شـوارتزشيلـد ، فصـلاً حـول المـوضوع ، ويشكـل نواة العـديد من مـظاهر نـظرية الفضـاء النـجـومـي : وخـاصـة دور الجـذب الارضي ، ووجود مناطق حرارية ، التي تبدو بوضوح وبيان .

ومن المستحسن الاشارة إلى الصفة الثورية جداً في بحوث شوارتزشيلـد : في سنة 1913 قام

باحثون مثل آ . فولر ـ وآخرون غيره ـ فافترضوا أيضاً وجود سطح منير في الشمس غائم ومشتت : ومع ذلك فان درجات الحرارة المرتفعة في الشمس وفي النجوم توجب ـ مسبقاً ـ حتى يومئذٍ استبعاد كل فرضية لا تقول بالفضاء الغازي الكامل فيها .

المسائل الكلاسيكية حول النقل (1920-1940) ـ بخلال السنوات التالية قدم تطور الفيزياء أسلحة لعلماء الفيزياء النجومية . من ذلك وعلى التوالي : في سنة 1905 ، مذكرات انشتين حول النسبية وخاصة حول الاثر الضوئي الكهربائي ، وفي سنة 1913 ، نظرية الذرة لبوهر ؛ وفي سنة 1920-1921 ، نظرية التأيين لمغ ناد ساها ؛ وفي سنة 1925 ، الميكانيك التذبذبي ؛ الخ . ان الخصائص المحلية للمادة وتفاعلها مع حقل الاشعاع اصبحت معروفة تماماً بحيث أصبح من الممكن أن يتيح الحل الدقيق لمعادلات تحول الاشعاع اجراء مقارنة مع التجربة .

وبالتأكيد ان الاهتمام انصب يومئذٍ على الطيف المستمر فقط : ان تشكل الخطوط ما يزال يعتبر مشكلة معقدة . وبخلال الحقبة من سنة 1920 الى 1950 تركزت البحوث على حل مسألة النقل ضمن الطيف المستمر ، في حالة التوازن الاشعاعي ، المفترض نموذجياً في الفضاءات النجومية .

منذ 1920 انتقل باحثون مثل لندبلاد Lindblad ثم لوندبلاد Lundblad (1923) وبعدهما بكثير شالونج وكورغانوف وباربيي وشاندرا سيكار ومونخ ، الخ ، من رصودات كلف صحن الشمس ، إلى « نماذج عملية تجريبية » عثروا عليها ، إلى دقة التحديدات داخل التوازن الاشعاعي .

في هذه الاثناء كان ميلن وادنغتون ، ثم العديد من الفيزيائيين النجوميين (امثال هوف وبانيكوك ووروسلاند وانسولد وشندرا سيكار وأمبرسوميان وسترومغرين وكورغانوف) يعمقون الدراسة الرياضية لمعادلات التحويل ، متدرجين بانتظام من حل الحالة الرمادية (ان معامل الامتصاص لا يتعلق بطول الموجة) إلى حل الحالة غير الرمادية ، الاكثر واقعية . واقترح بعض المؤلفين رد الحالة غير الرمادية إلى الحالة الرمادية بفضل حساب « معامل امتصاص وسطي » : ان المتوسط الذي وضعه روسلاند سنة 1924 يقدم نموذجاً جيداً في الطبقات العميقة ، أما متوسطات شندرا سيكار (1948) أو سترومغرين فهي أكثر استجابة في الطبقات العليا . ولكن في الوقت الراهن (1961) ، رغم النجاح المحدود في مختلف طرق حل الحالة غير الرمادية يمكن اعتبار هذه المسألة محلولة حلاً سيئاً . والتقدم يأتي في الوقت الحاضر من نظرية انتشار النترونات التي تتشابه معادلاتها شكلياً مع معادلات تحول الاشعاع : الا ان تعليمات هذه النظرية محدودة بالفرق الكبير بين الشروط ، وبالحدود التي تتدخل في هاتين المسألتين . ان فكرة الوظيفة ـ المصدر للاشعاع هي أفضل تعريفاً ؛ ودور التوازن الحراري الديناميكي المحلي أفضل توضيحاً . وطبق شندرا سيكار وسوبوليف وكثير غيرهما على حالات رمادية معقدة الطرق المطبقة في الحالة الرمادية الضيقة التي حددها ميلن Milne . ان هذه الاعمال ، التي تتطلب مهارة رياضية كبيرة ، رغم انها لم تقدم أية فكرة أساسية جديدة ، لها تطبيقات تتجاوز بوضوح اطار النجوم ، وبصورة خاصة في دراسة الفضاءات النجومية . وتجب الاشارة أيضا إلى التقدم (الذي يؤدي كل مرة إلى تطبيقات عملية

جديدة لطرق جديدة ، وإلى مقارنات جديدة مع الواقع) ، في معرفة اللاشفافية المستمرة : وهكذا تم لعب دور أساسي في الفيزياء النجومية ، بفضل اكتشاف الايون الغزير جداً H^- من قبل ويلدت Wildt سنة 1938 . ومن الممكن أن يستعين سلوك الطيف النجومي فوق البنفسجي المكتشف بفضل التجارب في الصواريخ ، بماص جديد قد تحدث أهميته في تفسير الاطياف ، ثورة تشبه الثورة التي أحدثها في السابق اكتشاف الايون السلبي الهيدروجيني .

تشكل أطياف الخطوط (1920-1950) - في هذه الاثناء ، وبفضل نظريات التوازن الاشعاعي وقياسات الطيف المستمر ، اخذت ترتسم نظرية للنمط الطيفي حقة ، وتتابعت البحوث المتعلقة بتأويل طيف الخطوط .

ان اكتشاف ساها Saha قد اتاح ربط مظاهر اطياف الخطوط بالحرارة ، من طرف إلى طرف آخر في السلسلة الطيفية . وأدى هذا الاكتشاف إلى معرفة هوية - أصبحت اليوم معروفة تماما - عدد كبير من الخطوط الطيفية : خطوط الهليوم الحيادي والمؤين ، في الشمس وفي النجوم الحارة ، وخطوط النيبوليوم التي اكتشفها كروز وبوين باعتبارها ناتجة عن الاوكسجين وعن الآزوت المؤيّنين ، وخطوط الكورونيوم المعروفة سنة 1942 من قبل أدلين Edlén باعتبارها ناشئة عن معادن مؤينة عدداً كبيراً من المرات . وبذات الوقت ، توضحت مسألة درجة حرارة الفضاءات . ان سلم درجات الحرارة النجومية انطلاقاً من الخطوط (آ . فولر Fowler ، ميلن ، 1923-1924) جاء يكمل نظرية النمط الطيفي المنبثقة عن الطيف المستمر ؛ وقد قارب راسل وك . باين مسألة تحديد الغزارات (1925) ، وقارب راسل وبانيكوك (1929) موضوع الثقل النوعي في فضاءات العملاقات . وبخلال السنوات التالية اخذت تتوضح تدريجياً أوالية توسيع الخطوط . واستخلص كتاب انسولد Unsold (1938) التقدم الحاصل .

إن هذه المسائل ما زالت تتطور : والمسائل الفيزيائية المطروحة حول تفاعل الذرات مع الايونات والالكترونات (مفعول ستارك) ما تزال بعيدة عن الحل . في سنة 1963 ، بُعث من جديد اهتمام الفيزيائيين بمسائل الاصطدامات الذرية المطروحة في الفيزياء النجومية : ويجب توقع حقبة كبيرة من الخصب بالنسبة إلى النظرية الفيزيائية النجومية ، لاطياف الخطوط .

بالطبع ، وبآن واحد ، اصبحت دراسة تحول الاشعاع في الخطوط الطيفية أكثر فأكثر تعقيداً : ان الترسيمات المؤقتة التي وضعها ميلن وادينغتون أو شوستر وشوارتزشيلد افسحت المجال أمام نماذج « موزعة » بشكل واقعي (انسولد ، 1931 ؛ مينارت ، 1932) . ان ستخدام منحنيات النمو (مينارت ، 1923-1931؛راسل ، 1925-1928) اخذ يثبت تدريجياً بشكل كامل (بيكر ، 1951) .

وأخيراً تم تحليل العديد من الحالات الخاصة : مثل النجوم في حالة الدوران السريع ، الفضاءات المتسعة ، الخ . مما اعطى بالتالي عناصر النظرية حول التطور النجومي .

إن الحقبة التالية (بعد 1950 ، اختصاراً) التي سوف نعود اليها ، تميزت يومئذ ، من جهة

باستعمال طرق حساب قوية جداً ، تتيح الاستفادة تماماً من وضوح معطيات الرصد ، ومن جهة أخرى ، وبالتالي ، اثبات التعقيد الفيزيائي للمسائل : بعد الاضطرار إلى رفض التبسيط المسرف للمسألة الرياضية المتعلقة بالتحويل ، كان لا بد من رفض التبسيط المماثل للطبيعة الفيزيائية للفضاءات : فالتوازن الاشعاعي ، والتوازن المائي الثبوتي (هيدروستاتيك) ، والتوازن الحراري الحركي (ترمودناميك) المحلي ، ليست لا تقريبات أولية . فضلاً عن ذلك ان الكواكب ليست تصاوير كروية : ويجب اعتبار وجود مفارقات وحقول محلية للسرعة ، وظاهرات مغناطيسية وناشطة .

2 ـ المسائل التطورية

المادة بين النجوم ـ السدم الكواكبية ـ الفضاءات الشفافية ـ ان المادة بين النجوم قد عرفت من وقت قريب ونظرية توازنها محدودة بعدد قليل من الاعمال .

إن كل حتمية تجريبية يجب ان تفسح المجال أمام نظرية ملائمة : نظرية الاستقطاب بواسطة الغيوم الماصة ، منحنى نمو خطوط الامتصاص ، تحديد الخصائص الباثة للجزئيات وتحديد طبيعتها (فان دي هولست) الخ .

ودونما رغبة في اعطاء عرض دقيق هنا ، من المهم الاشارة إلى أهمية بعض البحوث الخاصة : منزل Menzel ، آلر Aller ، غولدبرغ Goldberg ، ومعاونوهم ، من جهة ، ومن جهة أخرى ، زانسترا Zanstra ، جميعهم درسوا التفاعليات الفيزيائية في السدائم الكواكبية .

ان الصفة الرئيسية في هذه البحوث ، كانت بالمقابل ، مع الدراسات المتعلقة بالفضاءات النجومية، تعمل على تصفح منحنيات شفافية (واذن فمسألة النقل كانت مهملة) ، ولكن حيث لم يكن الاشعاع ، الصادر عن النجمة ، بالتالي متوازناً مع الظروف الحرارية الدينامية المحلية (واذن لم يكن هناك توازن حراري دنياميكي محلي) . ان النظرية ـ وقد أخذت في الاعتبار الظاهرات الميكروسكوبية ، وعددت الانتقالات الاشعاعية والتبريدات المفاجئة للذرات ـ أتاحت عندئذ حساب مجموعات المستويات الذرية : وقد استنتج من ذلك امكانية تحديد درجة الحرارة في النجوم الحافزة ، وتفسير الخطوط الممنوعة ، والتركيب الكيميائي . ان هذه النظريات قد طبقت غالباً ، ليس فقط على السدائم الكواكبية ، بل وأيضاً على الوجه المضيء من الشمس وعلى التاج .

وأتاحت سلسلة من مقالات سبيتزر Spitzer فهم توازن المبادلات الطاقوية ثم حساب ـ ضمن شروط متنوعة ـ درجة حرارة الغازات بين النجوم . وقد أثبت سترومغرين ، فضلاً عن ذلك ، حول النجوم الحارة ، وجود مناطق من الهيدروجين المؤين .

إن هاتين المجموعتين من البحوث لهما أهمية أساسية ، وبالفعل ، انهما تبينان محدودية الفرضيتين « الشفافتين » : بيّن سبيتزر الدور الاساسي للصدمات ، وركز سترومغرين على « عدم الشفافية » المهمة في المادة بين النجوم بالنسبة إلى الشعاع UV ، عدم شفافية تلعب دورها في

تكوين الطيف المرئي ، حتى ولو كانت المناطق المعنية شفافة أمام الاشعاعات المرئية .

ديناميةالانظمة النجومية ـ في مجال مختلف تماماً ، هو مجال دراسة الحركات داخل المجرة ، أصبح نشاط الفلكيين قادراً على تجميع عناصر نظرية عامة حول التطور ، بصورة تدريجية .

إن وضوح القياسات التي قدّمها علم فلك الموقع هو الذي أتاح تحليلها ، والذي استكمل حديثاً بتحليل المعطيات الواضحة أيضاً حول علم الفلك الضوئي (راديو استرونومي) فوق 21 سنتم . ان استخدام قياسات الحركات الخاصة والسرعات الاشعاعية أدّى إلى نشوء علم حركية حقيقي للمجرات . والمظهر الاكثر دلالة هو من جهة دراسة الدوران التفاضلي للمجرّة (اورت Oort ، 1926) ومن جهة أخرى التعرف على بنيتها الحلزونية (1955) .

ولكن تطور داخل المجرّة رصد العائلات النجوسية ، والكتل الكروية أو المفتوحة ، وخاصة التجمعات . ان الدراسة السينمائية أو الحركية لهذه التجمعات ركّزت على عمرها القصير جداً أحياناً (امبرسوميان ، 1952) . وبالطبع ان كل مسألة حركية تطرح مسألة ديناميكية ، هي مسألة تفسير الحركات المرصودة : مثل دراسة ـ داخل المجرة ـ المسارات ، والاصطدامات (المهملة بوجه عام) (لندبلاد) ؛ دراسة استقرارية الكتل (بيكار ، بوك ، مينور ، فون زيبل ، سبيتزر ، شندرا سيكار) ؛ دراسة تشكل التجمعات بشكل سلسلة (بلاو Blaauw) : كل البحوث التي تستخدم المتغير « زمن » وتطرح من جديد مسألة التطور الفردي للنجوم المشاركة في هذه الحركات الجماعية . وهكذا هل ان المعطيات المطيافية المتعلقة بنجوم مجموعة ما متلائمة مع عمر هذه المجموعة ؟

مسائل التطور النجومي . الفرضيات حول نشوء الكون أو الفرضيات الكوسموغونية ـ ان الافكار العديدة حول تطور النجوم وتكون الأنظمة الكواكبية قد عرضت في أواخر القرن التاسع عشر ، في العديد من المؤلفات التي ابرزها هو مؤلّف هنري بوانكاريه « دروس حول الفرضيات الكوسموغونية » أي المتعلقة بنشوء الكون (باريس ، 1913) .

من المهم من دون شك ان نذكر افكار سير نورمان لوكيير Lockyer (التي نشرت بين 1880 و 1916). هذا الباحث ، في تصورٍ لمحول ما يجب أن يكون عليه دياغرام (الخط البياني) هرتز سبرونغ ـ راسل ، يثبت التطور النجومي كما يلي :

نجوم M عملاقة ← (درجات حرارة متزايدة ، تكثف متزايد : عملاقات) ← نجوم O (درجات حرارة قصوى) ← (درجات حرارة متناقصة ، تكثف متزايد ، قزمات) ← نجوم M قزمة .

ان الافكار الحديثة كان لها مع التطور المتصاعد الموحد الذي قال به ن . لوكيير ، نقاط اشتراك كثيرة .

مصادر الطاقة ـ رأينا كيف أخذت تتوضح بصورة تدريجية الافكار حول بنية النجوم انطلاقاً

من معرفة اشعاعها . والمسألة الاكثر صعوبة ، والتي بقيت طويلاً ، هي معرفة مصدر موجات الطاقة الضخمة ، المرصودة : فالشمس تشع $3,98 \times 10^{33}$ ارغس ergs في الثانية وذلك منذ حقبة تتألف من عدة مليارات من السنين ، وهو عمر يقدره الجيولوجيون للارض .

ودون ذكر الفرضيات الكيفية التي وضعت في أواخر القرن التاسع عشر تقريباً ، يجب اعتبار هـ . فون هلمهولتز (1854) كمؤلّف لأولى النظريات الكمية : فقد أوحى بالتقلّص الجذبي باعتباره مصدر الطاقة النجومية وفي سنة 1861 ، الخ . حسب لورد كلفن سلم الزمن المطابق وحصل على : 2×10^{7} من السنوات كعمر للشمس ، وهو عمر صغير بالتأكيد وصغير جداً . وبين كلفن أيضاً ان الهبوط النيزكي على الشمس ، والذي زعمه هلمولتز لا يلائم أبداً .

إن فكرة الانتقال النووي (أي التحول مع خسارة في الكتلة وانتاج للطاقة ، من أربع ذرات من الهيدروجين إلى ذرة من الهيليوم) يجب بالضرورة أن يأتي بعد نشر اعمال انشتين التي اعلنت عن العلاقة بين الكتلة والطاقة : $E = mc^2$. وهذه الفكرة عبّر عنها بوضوح هركنس Harkins وولسون سنة 1915 وج . پرين وادنغتون سنة 1920 .

إن تقدم الفيزياء قد أتاح تطورات أكثر تفصيلاً : ان نظرية اشعاع α (الفا) والتقاط البروتونات استخدمها اتكينسون Atkinson وهوترمنس Houtermans سنة 1929 . وأقرّ ويزساكر سنة 1937 النظرية بشكل شبه عصري ؛ فقد أعطى للانتقالات دور المصدر لكل العناصر الكيميائية . باعتبار ان النجوم عند تشكلها كانت مصنوعة من الهيدروجين النقي : وكانت هذه أول فكرة في نظريات النشوء النووي .

في هذه الأثناء كان تفصيل التفاعلات داخل النجوم الحالية قد توضح : دورة الكربون (غامو ، تيلر ، 1939 ؛ بيت ، كريتشفيلد ، 1940) ، دورة بروتون ـ بروتون (فولر ، 1951) ، تفاعلات الهليوم (شاتزمان ، 1951 ، الخ) .

إن منشأ العناصر الخفيفة (التفاعلات الحرارية النووية) والثقيلة (أسر النترونات) في الحالات السابقة على النجوم ، قد أحرز ، بعد البحوث الأولى التي قام بها ويزساكر ، تقدماً كبيراً بفضل بحوث ألفر وبيت وغامو ثم بحوث فولر وج . وم . بوربيدج .

البنية الداخلية والعمليات التطورية . دياغرام هـ ـ ر ـ ان التفاعلات التقلصية والطاقة الحرارية النووية هي إذاً الاسباب الاولى للتطور . وقد أتاح تطبيق النظريات المطابقة ، على الكتل الغازية ، تتبع تطورها ، منذ المرحلة السديمية . ودراسة النجوم مثل المستحدثات أو النوڤا والسيڤيديا ، الخ . أتاحت التثبت من الظاهرات غير المستقرة في حين ان دراسة « النطف » اخذت تتوضح . ان نظرية البنية الداخلية هي بالطبع في أساس كل نظرية التطور ، رغم ان نموها كان مستقلاً تماماً ، في البداية ، عن كل خلفية تطورية . ان الاعمال التي سبق ذكرها قد استمرت بشكل خاص في عمل ادنغتون (النموذج القياسي ، 1916 والسنوات التي تلتها) . وقد طور ادنغتون القواعد التفاضلية التي وضعها ريختر ، ووسعها ؛ وفيما بعد (من سنة 1929 الى 1936) عمق ميلن ، ثم شندرا سيكار (1936 ، 1937) دراستها ، ودرس ادنغتون « العلاقة بين الكتلة

واللمعية » : وبعد ان أثبتها تطبيقياً ، بررها نظرياً . ونحن نعرف الدور الضخم الذي لعبته هذه العلاقة في البحوث حول النجوم المزدوجة ، وفي اكتشاف القزمات البيضاء، الخ . وقد عمل خلفاء ادنغتون (مثل كولنغ ، وفون نيومان ، وشندرا سيكار ، وروسلاند ، وسترومغرين ومورس وكيلر) على تقدم هذا المجال وذلك بتحسينهم كيفية الاخذ بكثافة أي عدم شفافية المادة بين النجوم ، والمناطق الحرارية العميقة ، الخ .

والنقطة الاكثر أهمية في هذا التقدم هي نظرية ڤوغت ـ راسل (1926-1927) : ومفادها ان الكتلة والتركيب الكيماوي يكفيان لتحديد بنية مطلق نجمة ، ضمن ظروف شبه عامة . وبالتالي ، ان السلامل التي اكتشفت في دياغرام هرتز سبرونغ ـ راسل لها دلالة تطورية ؛ وبخلال هذا التطور تتغير كتلة النجمة ـ فقدان الطاقة بالاشعاع ، خسران المادة نتيجة القذف المنتظم وغير المنتظم . ان التفسير التطوري للدياغرام هـ ـ ر ، وخاصة بالنسبة إلى نجوم الكتلة ، قد أتاح توضيح المراحل المتتالية ، ومعايير التطور كما أتاح تخصيص كل قسم من دياغرام هـ ـ ر ببنيات نجومية خاصة .

نذكر بحوث سترومغرين (1932-1938) ، وبحوث كيبر (1936) ، وشندرا سيكار ، وأقرب منه بحوث م . شوارتزشيلد وتلامذته ، وكذلك بيرمان وتلامذته ، وبارينـاغو وماسيفيتش ، وهويل وأعوانه بخلال الحقبة 1945-1960 . وتعتبر ذات أهمية خاصة جداً الفكرة التي اقترحها أوبيك Opik ، ثم طورها م . شوارتزشيلد وتلامذته حول النجوم ذات النوى التي نفذ هيدروجينها ، والتي لها تركيب كيميائي مختلف عن تركيب غيرها من الاقسام .

هذا الحدث الذي هو نتيجة التطور قد ترجم بواقعة ان هذه النجوم تركت السلسلة الرئيسية ان المراحل المختلفة لهذا التطور قد تجسدت في دياغرام هـ ـ ر حول الكتل الكروية .

وهناك مكان خاص هو مكان البحوث حول الظاهرات غير المستقرة ، وخاصة حول منشأ الانفجارات النجومية (مثل المستحدثات النوڤا والمستحدثات العملاقة) وحول نشأة النبضات ؛ نذكر هنا أسماء غامو وخاصة روسلاند الذي انبثقت عن بحوثه بحوث أكثر حداثة قام بها شوارتزشيلد وشاتزمان وزيڤاكين وليدو وويتني . وبصورة تدريجية ارتسمت نظرية اللاامستقرار في النجم وهي نظرية خضعت لتأرجحات اجبارية اشعاعية أو غير اشعاعية ؛ ان الصفة الاساسية لمثل هذه النظرية هي انها يجب أن تصبح غير خطية لكي تتيح تفسير نبضات السيفيديات .

النجوم الفتية . المتبقيات النجومية ـ ودون أن نعتبر هذه البحوث نظرية من المهم ان نشير هنا إلى الدفعة التي احدثتها أرصاد الاشياء الفتية ، هذه الارصاد التي ساعدت كثيراً في تقدم الأفكار : أهمية التجمعات النجومية الشابة (أمبرسوميان ، كولوبوف) وهي أشياء تقلصية لا تستمد طاقتها من التفاعلات النووية الحرارية (كتلة وولكر Walkor . أشياء هربيغ ـ هارو Herbig-Haro) .

وفي الطرف الآخر من التطور انصب الانتباه لدى العديد من الباحثين على « المتبقيات » ، بقايا الانفجارات النجومية في المستحدثات العملاقة : مثل سدائم مركاريان ودراسة سديم كراب ، المصدر الضوئي الزاخم .

إن حدّ تطور النجمة بداتها هو « القزمة البيضاء » ، واكتشاف هذا النمط من النجوم يعود إلى النصف الثاني من القرن التاسع عشر . ان الضعف المتناهي في لمعانها ، وكونها لا تتبع العلاقة كتلة ـ اضاءة ، قد ثبتا على يد ادنغتون . وفي سنة 1926 اكتشف ر . هـ . فولر اكتشافاً أساسياً عندما بين ان هذه القزمات تتكون من غاز متقهقر من الالكترونات بالمعنى الذي قصده فرمي ـ ديراك . وطور آ . ك ستونر وميلن وو . اندرسون وشندزا سيكار افكار فولر وطبقوا عليها نظرية البوليترويات أي متعددات الصور والاشكال ، مع أخذهم بالتقهقر النسبوي .

وفي سنة 1946 اقترح شاتزمان أن توزع العناصر يمنع اختلاطها ، وان التفاعلات النووية لا يمكن أن تحدث الا ضمن طبقة رقيقة من الخليط . أما اليوم فهناك ميل غالب الى القول بأنه يجب التفتيش عن نشأة الاشعاع في القزمات البيضاء في برودة تدريجية تصيب نجمة ليس لها في داخلها مصدر داخلي للطاقة .

الفرضيات الكوسموغونية : أصل الكواكب ـ في هذا المجال نشأت مجموعتان من النظريات وتطورتا : النظريات الكارثية وابرزها نظرية جينس ، وتفترض تجزؤ خيوط متصلة من مادة انتزعت من الشمس بفعل قوى المد والجزر ، ثم هناك النظريات السديمية التي تجعل النظام الكواكبي امتداداً تطورياً لسديم بدائي أول ، وهي تقوم على تطوير أفكار لابلاس أو كنت .

ان راسل حين أثبت سنة 1935 ان الفرضيات الكارثية لا تتلاءم مع قوانين الحفظ ، ثم تلاه سبيتزر سنة 1938 ، حين بيّن قلة واقعيتها الفيزيائية ، هما اللذان فتحا الطريق أمام التطوير الحديث للنظريات السديمية : والمراحل الرئيسية فيها هي الدراسة الفيزيائية الكيميائية لعمليات التكثف (ترهآر ، 1948 ؛ واوري ، 1952) ثم النظرية الميكانيكية القائلة بالتراكم داخل الصحن السديمي (ويزساكر ، وكيپر وشميدت بعد 1944) .

3 ـ الاتجاهات في علم الفيزياء النجومية الجديد

العلاقة شمس أرض ، الظاهرات غير الحرارية ـ لقد جذبت البحوث الشمسية ، منذ حوالي خمسين عاماً ، الانتباه حول وجود حقول مغناطيسية محلية قوية ، ان اكتشاف نجوم مغناطيسية ، من قبل هـ . ر . وهـ . و . بابكوك قد طرح من جديد مسألة فهم هذه الظاهرات .

ان تكون هذه الظاهرات مربوطة بدوران النجوم وبقذف المادة ، هذا أمر يجب عدم الشك به . ولكن بخلال العديد من السنين ، اكتفى العلماء المتخصصون في الفيزياء النجومية بأوصاف ظاهراتية ، وببحوث احصائية ، وبحسابات ارتباطات وعلاقات ، الخ .

وقد ظهر أوّل جهد مهم ، تأليفي تركيبي ، في كتاب الفن Alfvén وعنوانه « المغناطيسية ـ المائية المتحركة = مانيتو ـ هيدرو ـ ديناميك » (1948)، وهو خلاصة اعمال بدأ نشرها سنة 1942 . ان هذا العلم الجديد ، المتلائم بشكل خاص مع الظاهرات النجومية الفيزيائية ، التزم ، بادىء الامر ، بنظرية العلاقات بين الشمس والارض ، وبالآثار الجسيمية ، وبنظرية النشاط الشمسي وبالظاهرات الناشطة .

واليوم اجتاحت البحوث حول الظاهرات التي تحدث في البلاسما كل مجالات الفيزياء النجومية .

ان دراسة قفزات الاشعاع الضوئي الكهربائي في الشمس (دنيس) ودراسة المصادر الضوئية غير الحرارية (سديم كراب : ڤان دي هولست ، اورت Oort) قد اثبتت الاشعاع السنكروتروني [السنكروترون هو سيكلوترون فيه تتعادل زيادة الكتلة النسبوية للجزئيات بتغير في الحقل المغناطيسي] المنبعث عن الالكترونات النسبوية المتحركة في حقل مغناطيسي . ان بعضاً من هذه الظاهرات ، تبدو وكأنها منبعثة ، بصورة أولى ، عن اشعاع سيرنكوف ، أكثر مما هي من الاشعاع السنكروتروني . ان البحوث النظرية التي قام بها شكلوفسكي Shklovsky حول التاج الشمسي ، وبحوث ڤان آلن حول البيئة الارضية ، ونظرية الافجار والمغناطيسية الارضية التي قال بها شابمان ، ونظرية المقذوفات الغازية التي قال بها لوست وشلوتر Schluter ونظرية باركر حول الهواء الشمسي ، هي بعض أمثلة كثيرة ، ذكرت من بين الف .

نظرية الفضاءات « الفيزياء النجومية الجديدة » ـ اقترح مقال لسترومغرين ، في سنة 1940 ، من اجل تحليل الاطياف النجومية ، وخاصة في حالة الشمس ، بناء شبكات من النماذج ومن منحنيات النمو الحرارية . ان تطبيق مثل هذه الطريقة لم يكن ممكناً آنذاك . وقد أصبح اليوم ممكناً ، بسبب استعمال وسائل الحساب الالكتروني . ومن النتائج الأولى الحصول على الكثرات (آلر ، أ . مولر ، غولدبرج ، 1960) .

ولكن هذا التوضيح المتزايد بفضل الحسابات ، مضافاً إلى توضيح القياسات ، يقتضي أيضاً وجود نظرية فيزيائية أكثر تقدماً . ان الفرضيات التقليدية عن الفضاءات النجومية ، يجب رميها ، لأنها لا تتوافق الا مع التقريبات البسيطة :

أ ـ ظاهرات الانتقال الحرارية ـ ان نظرية شوارتزشيلد ، المستعادة والمستكملة من قبل العديد من المؤلفين منذ انسولد ، تقدم معياراً استقرارياً ضد الانتقال الحراري . ان اتساع مناطق الانتقال الحراري ، يتأثر جداً بغزارة الهليوم (ش . و . بيكر) ؛ والنجوم الغنية بالهليوم هي من دون شك اكثر لااستقرارية ، تجاه الذبذبات ، وقد تصبح نجوماً نابضة (كوكس Cox كيبنهاهن Kippenhahn ، وزيڤاكين Zhevakin 1961) .

وعن منطقة الانتقال الحراري ، تصدر موجات صوتية تحدث « الحماوة » في السطح المضيء من الشمس وفي التاج ، وهي ظاهرات ما يزال تحليلها النظري ودرسها التجريبي في البدايات .

ب ـ تدخل اللاتجانسات ـ إن وجود ظاهرات الانتقال الحرارية ، والتحبحب الذي هو أحد مظاهرها ، يؤدي إلى افتراض وجود نوع من اللاتجانس . وقد اقترح العديد من المؤلفين ، امثال ك . هـ . بوهم ، نماذج لا تجانسية للفضاء الشمسي . ومن المؤكد ان الانعكاسات عديدة .

جـ ـ الانحرافات عن التوازن الحراري الدينامیكي المحلي ـ الأكثر أهمية ،

من غير شك ، هو وجود ـ في اجواء الشمس وفي السطوح المنيرة منها ، كما في التيجان ـ انحرافات مهمة عن التوازن الحراري الديناميكي المحلي . ان دراسة الجوانب (بيكر وتلاميذه ، 1957) قد أتاحت اثباتها في طيف فرونهوفر : ونتائج ذلك تلاقي نتائج التحليل النظري الذي قام به توماس وتلاميذه (منذ 1950) الذي حلّ بآنٍ واحد معادلات التحول ومعادلات التوازن الاحصائي في المستويات الذرية ، وحصل على معاملات انحراف التوازن الحراري الديناميكي المحلي . والنظرية الجديدة وسيطة بين التقريبين الاقصيين ، وتتفادهما : التقريب المسمى « سديمياً » ، لأنّ السديم شفاف امام كل الاشعاعات ، والتقريب المسمى « نجومياً » ، لأن الاشعاع والمادة هما في حالة توازن في كل نقطة . انه عن « التزاوج » بين مختلف العمليات الفيزيائية ، ينتج ما يسميه توماس « المطيافية الجديدة » .

د ـ الظاهرات الكهرمغناطيسية وغير الحرارية ـ من اجل تعميم تعبير توماس يمكن ان نسمي « فيزياء نجومية » الفيزياء الناتجة عن استحالة عزل التفاعلات الفيزيائية بعضها عن بعض : علم المغناطيسية ـ المائية ـ المتحركة « مانيتو ـ هيدرو ـ ديناميك » وهو دراسة التفاعلات المتبادلة بين حقل مغناطيسي وحركات المادة ؛ نظرية البلاسماث وهي دراسة التفاعلات المتبادلة في الموجات التي تجتاز وسطاً مؤيناً ، وفي هذا الوسط بالذات دراسة نظرية الفضاءات ، ونظرية الاشعاع والشروط المحلية التي يؤثر بعضها في بعض .

إنه من غير شك هكذا تثبت علم الفيزياء النجومية النظرية المستقبلي : وفي ظل الترابطات غير المتوقعة ، والتزاوجات ، والتفاعلات المتبادلة ، بدا هذا العلم علماً أكثر تعقيداً. ثم لا شك انه يلعب ، أكثر فأكثر ، بالنسبة إلى الفيزيائيين ، دور المرشد ، في مختبر فضائي ليس له فيه منازع : تلك كانت الحالة في مجال التفاعلات النووية الحرارية ، وهذا هو الحال الآن في مجال حي جداً هو مجال البلاسمات . وعلى كل حال ، من المؤكد ان علم الفيزياء النجومية لا يمكن ان يعتبر كفرع مستقل علمياً : فهو يتكامل مع كل الفيزياء .

XIII ـ الاقمار الصناعية

قلما شوهد في تاريخ العلم ، تقنية بحث تبرز فجأة بهذا الشكل ، ثم تعرف تطوراً بمثل هذه السرعة ، ثم تحمل ثماراً باكرة جداً ، كتقنية القمر الاصطناعي . ان أدب الاستباق الذي يعكس في أغلب الاحيان اتجاهات الفضول العلمي ، والذي استطاع بفضل اقلام مأذونة ان يصبح تكهناً ـ ليس له وجود هنا . منذ عشرين سنة تقريباً ، في وقت كان فيه للمهندسين كلام بشأن المشاريع الريادية الفضائية ، عالج الفرنسي اسنولت ـ پلتري Esnault-Pelterie (1881-1957) معالجة عميقة كل المسائل التقنية المتعلقة بالموضوع دون أن يتطرق أبداً إلى القمر الصناعي . وفي الواقع ، ومنذ بوشرت دراسة الوسيلة في ترك الارض ، كان التصور دائماً يدور حول مركبات يمتطيها الانسان وترسل نحو غرض معين . أما الدوران حول الارض فلم يكن يجتذب الانتباه ؛ ولم يفكر به أحد حتى ولو بواسطة آلة بدون انسان .

وهذا النقص في الاستباق له مبرراته . فلم يكن بالامكان ، حوالي سنة 1950 ، تصور

امكـانية ايجـاد هذه المـركبة ، ولا تصـور الفائـدة التي يمكن ان تحصل من صنعهـا . ولكن وجـه الاشياء كان لا بدَّ ان يتغير ، وبالضبط من هذه الرؤية المزدوجة ، على اثر التقدم الذي تحقق تحت ضغط الاحتيـاجات العسكـرية بين سنـة 1939-1945 ، خـاصـة في مجـال الصـواريـخ وفي مجـال الالكترونيك .

واذا كان مبدأ الدفع بواسطة القذف ، ومركبته النموذجية، الصاروخ ، معروفين قديمـاً ، واذا كان من المعروف منذ وقت طويل ان في هــذا الوسيلة (ربما الوحيدة) للانتقال في الفـراغ ، فقد كـان لا بد من قـوة الصاروخ V_1 والصـاروخ V_2 ، من اجل التـوصل إلى جـوبيتـر C ، وثـور Thor وفانغارد Vanguard وغيـرها . لقـد قدم علم الالكتـرونيك وسـائل التـوجيه والسـيطرة والتحكم من بعيد ، الضرورية ، للاطلاق وكذلك صوت القمر الصناعي وكل البهارج المفيدة يومئـذٍ لتركيـز اكثر ما يمكن من المعلومات حوله .

في حـوالي سنة 1950 بدا القمر الاصـطناعي ، أخيـراً انجازاً في متنـاول الانسـان . وصُـدِفَ يومئذٍ ان بدأت الاستعدادات للسنة الجيوفيزيائية الدولية .

1 ـ بدايات الملاحة الفضائية

الأقمـار الصنـاعيـة وA.G.I. أو السنـة الجيـوفيـزيـائيـة الـدوليـة ـ ان المشـروع جـاء بعــد « السـنوات القطبيـة » التي عقدت في سنـة 1883 و1933 ، وقد حـرك العالم العلمي من أجـل القيـام بدراسة مشتركة طيلة ثمانية عشرة شهراً ، انطلاقاً من أول تمـوز 1957 ، لبرنـامج مخصص لـلارض وجوارها . أما دراسة الفضاء الاعلى ، بشكل خـاص فقد كـانت تستعين إلى حد كبيـر بالصـواريخ التي شاع استعمالهـا في عدة بلدان . ولكن في سنـة 1945 صدرت عن الاتحـاد الاشعاعي العلمي (راديـو سيانتيفيـك) الدولي المجتمـع في لاهاي ، ثم الاتحـاد الدولي للجيـوديزيـا والجيوفيـزياء المجتمع في روما ، توصية باطلاق أقمار صناعية للبحث بخلال السنة الجيوفيزيائيـة الدوليـة . وفي 4 تشرين الأول سنة 1954 عادت اللجنة الخاصة المنبثقة عن A. G. I. إلى هذا الاقتـراح ، وسجلت في برنامجها نظاماً تحت هذا العنوان المزدوج : « الصـواريخ والاقمار الصناعيـة » . وفي سنة 1955 اعلنت الـولايات المتحـدة انها تستعـد لاجراء التجـربة بخـلال الحقبة المحـددة . وكـذلـك اعلن الاتحاد السوفياتي سنة 1956 .

الاقمـار الصناعية الاولى ـ ان المشاريع الاميركية كانت موضوع دعاية كبيرة وانتشار حتى لدى الجمهور . ومع ذلك فقد عاد شرف السبق في الاطلاق الى الاتحاد السوفياتي ، ثم تكرار المحاولة بعد شهر من الاطلاق الاول .

في 4 تشرين الأول سنة 1957 أثار اطلاق أول سبوتنيك Sputnick اعجاب العالم خـاصـة وانـه جاء من جهة غير متوقعة ، ثانياً لانه بدا ضخماً (83 كيلوغراماً) بالنسبة إلى مشـروع اميركي صغيـر « بامبليموس » من 1500 غـرام . والواقـع ان بعض المجلات السـوفياتيـة قد اعلنت عن المميـزات الرئيسية لهذه الآلة ، دون ان تعطي بالطبع تاريخاً دقيقاً لاطلاقـه ، مع الاشـارة مثلاً الى التـواترات

التي بقيت كلاسيكية ، من عشرين ميغاهرتز الى 40 ميغاهرتز ، حتى تستطيع الراديوات الهاوية تتبع البث . ولكن يجدر القول ان المقامات العلمية وخاصة تلك المهتمة بـالـ A. G. I لم تعلم لا مسبقاً ولا اثناء الاطلاق بالعملية .

وقـد قاس سبوتنيـك واحد الضغـوطات ودرجـات الحرارة . وقـد سكت جهاز بثّـه بعد ثـلاثة أسابيع ، والقسم الأخير من الصاروخ الذي كان يدور وينجذب من جانبه كان شيئاً جميلاً للمشاهدة والرصد . وقد وقع إلى الارض في أول كانون الاول ثم تبعه القمر الصناعي في 4 كانون الثاني سنة 1958 . ومدارها المشترك عند الانطلاق جعلهما يـدوران بين 225 و 950 كيلو متراً بعيداً عن الارض وحولها .

وفي 3 تشرين الثاني كان سبوتنيك 2 قد اطلق ، وكان وزنه 508 كيلو غرام ؛ وفيه مقصـورة أو كـابين خاصـة فيها كلبـة للتجربـة . وقد بلغ سمتـه 1780 كيلو متراً . واشتغـل جهاز البث فيـه طيلة اسبوع . وكان القمر أيضاً مرئياً تماماً ، كما بقي الصاروخ ملتصقـاً بالقمـر ووقع إلى الارض في 14 نيسان سنة 1958 .

وفي 15 أيار سنة 1958 انطلق سبوتنيك 3 الذي يعتبـر قمراً صنـاعياً اوركستـرا حقيقية . وظـل لمدة أطول وقام بانجاز أخصب . فقد كان وزنه الاجمـالي 1325 كيلو غرامـاً ، وحمل معـدات تزن 950 كيلو غراماً ، واجرى ما يقارب من عشر تجارب . اما جهاز بثه فقد بقي يعمل حتى سقـوطه في 6 نيسان 1960 .

البدايات الأمريكية ـ إنّ البرنامج الأمريكي فشل في بادىء الأمر . فمشروع ڤانغارد أسند إلى البحـرية ، وكـان قيد التنفيـذ وفقاً للخـطط عندمـا انـطلق القمـران الصنـاعيـان الـروسيـان الأولان سبوتنيك . وعنـدئـذٍ سـرِّعت الأشيـاء ، بتجـاوز بعض المـراحـل (مثـل قـذف حقيقي للمـركبـة الكاملة) . ونتج عن ذلك سلسـلة متعبة من العمليـات المتقطّعـة أو المؤجّلة في اللحظة الأخيـرة ؛ وعقبها فشل كامل في 6 كانون الأول 1957 .

وعندها تقرر افساح الخط أمـام مشروع قـامت به بـذات الوقت فـرقة من جيش الارض تحت ادارة ورنر ڤون براون ، والذي كان يعدُّ قمراً يزن 15 كيلو غراماً محمـولاً بصاروخ ذي اربـع طبقات اسمه جوبيتر C ، واطلق على القمر اسم اكسبلورر ، الكشاف . وتمت المحاولة في ليل 31 كانون الثاني ـ أول شباط سنة 1958 ونجحت تماماً . ودار اكسبلورر واحد بين 370 و 2500 كيلـومتـر أي انه ارتفع أكثر وانخفض أقل من الصاروخين الـروسيين الاولين ، ومن الثالث الـذي تبعهما . وكـان ما يزال في مداره في الستينات .

وبعـد فشل جـديـد في 5 شبـاط 1958 نجـح ڤـان غـارد الاول بـدوره في 17 آذار ، ثم تبعه اكسبلورر الثـاني في 25 منه . إلى درجة انه بخـلال شهـر ، أي بين سقـوط سبـوتنيـك 2 واطـلاق سبوتنيك 3 . كانت ثلاثة اقمار اميركية تتجول حول الارض وحدها . كان مدار ڤـانغارد الاول رائعـاً فقد كانت نقطته الاقرب إلى الارض 650 كيلو متراً وكان سمته 4000 كيلو متـر . ان الهدف في هـذه الشروط هو عملياً شيء خالد . ثم انه ما يزال مستمراً في البث .

وفي سنة1951 اطلق ايضاً اكسبلورر الثالث ثم تبعه صاروخ اطلس كامل (اكثر من 4 اطنان) ، وفي سنة 1959 اطلق قمران ڤانغارد آخران في مدارات كمدار القمر الاول ، واطلق صاروخان اكسبلورر ، وستة اقمار أولى من سلسلة ديسكوفرر التي سوف نتكلم عنها . في هذه الاثناء اكتفى الاتحاد السوفياتي بسبوتنيك 3 ، ولكنه اطلق ثلاثة صواريخ باسم لونيك باتجاه القمر . وأول هذه الصواريخ (2 كانون الثاني 1959) ذهب ابعد وانتهى الى مدار بحيث اصبح قمراً اصطناعياً . والثاني اطلق في 12 أيلول سنة 1959 واصطدم بارض القمر بعد 34 ساعة أما الثالث فاطلق في 4 تشرين الاول سنة 1959 ودار حول القمر واخذ له صوراً شهيرة عن سطحه المقابل .

وشاهدت السنوات 1960 وما يليها تجارب عديدة ، وانتهت بحدث متوقع لدى الجماهير : وهو طيران انسان في الفضاء . وبدلاً من الوقوف عند تفصيلات هذه الاقمار فسوف نحاول ابراز المراحل والتسلسل الذي يشكل ما يمكن ان يسمى بالتاريخ .

2 ـ تطور القمر الصناعي

التحكم بالمدار ـ في البدايات كان نجاح القاذف هو الأساسي ؛ ان المدار في حده الأدنى يتجاوز قليلاً حد الأمان الحيوي بالنسبة إلى القمر الصناعي (180 كلم تقريباً) ، اما الذروة فكانت متواضعة : 1000 الى 2000 كلم . تلك هي مدارات سبوتنيك الثلاثة . ولكن سرعان ـ وخاصة مع الاقمار الصناعية الاميركية الاخف وزناً بوجه عام ـ ما امكن الحصول على مدارات اكثر جدوى . لقد سبق وأشرنا إلى سلسلة ڤانغارد ، (الحضيض فوق 500 كلم والذروة أو السمت حتى 4000 كلم) ؛ في سنة 1960 وضع القمر الصناعي ايكو واحد في مدار شبه دائري علوه 1650 كلم ، أما سلسلة تيروس فذات مدارات دائرية من 700 كلم تقريباً . وفي سنة 1961 اطلق ميدامس 3 الذي دار بين 3350 كلم و 3540 كلم رغم انه كان يزن 1600 كلغ ، ثم تبعه ثلاثة أخرى سنة 1962 .

فضلاً عن ذلك تم التوصل إلى مدارات بعيدة جداً قصد بها استكشاف المناطق البعيدة وكانت تحمل القمر الصناعي إلى ذروات تصل إلى 40 الف كلم (اكسبلورر 6 ، 7 آب 1960) ، وذروات تبلغ 200 الف كلم (اكسبلورر 10 ، 25 آذار 1961) ، ثم 80 ألف كلم (اكسبلورر 12 ، 16 آب 1961) . ان لونيك 3 الذي له في الواقع مدار قمر صناعي ، رغم أنه قد تغير بشكل محسوس قرب القمر ، فقد بعد عن الارض اكثر من 400 ألف كلم . ولكن هذه المدارات الطويلة جداً هي دائماً عرضة للاضطراب بفعل الجاذبية القمرية الشمسية ، والاقمار تبدو عرضة للزوال . وعلى كل حال ان التحكم بها قلما يتجاوز عودتها مرتين أو ثلاثة إلى الحضيض .

إن المركبات الفضائية الضخمة الكونية السوفياتية (4,5 أو 6,5 طن) وهي 7 في مجموعها ، قد وضعت في مدارات منخفضة ، ولكنها كانت تستجيب بشكل جيد للطلب . فقد كلفت في بادىء الامر في استكشاف ذروة القمر الصناعي المستقبلي المأهول ، واذاً فقد تبعت المركبتان الاوليان مدارات دائرية على بعد 300 كلم . ثم من أجل دراسة عملية النزول انطلاقاً من

الحضيض ، فقد تبعت المركبتان الاخيرتـان مدار العـربة المستقبلة التي ركبهـا الانسان ، بين 180 و 250 كلم .

وهنـاك نقطة أخرى أساسيـة في المـلاحـة الجـويـة هي مـوضـوع تغييـر الـطريق . وكـانت المحاولات الاولى بهذا المعنى قد جرت في عملية ديسكوڤرر ، لأنها تضمنت هبوطاً طـويلاً مـداه 3000 كلم لكبسولة فضائية منفصلة عن الـقمـر ، وتنتزع من مدارها عند الزاوية المرادة . ثم جاءت السبوتنيك الثقيلة التي انتهت بالمركبتين المأهولتين بالبشر واللتين هبطتا (أو اعيدتا بانخفاض شديد ضمن ظروف أمنية تتلاءم مع قفزٍ بالمظلة) وفقاً لبرنامج أوتوماتيكي خالص ، حيث يستـطيع الـرائد عند اللزوم التدخل. وتمت تجربة أقرب إلى الانجازات المستقبلية بفضل تجربة ديـسكوڤرر 21 (18 شباط 1961) التي تلقت دفعاً اضافياً بواسطة صواريخ على متنها تشغل في الدورة الرابعـة بناءً على امر مرسل من الارض . وهكذا ينتقل القمر من مدارٍ 93,8 إلى مدارٍ أكبر 97,8 دقيقة .

وأخيـراً هناك عمليـة خاصـة جداً في مجـال الصواريـخ العابـرة للقارات قـد تحققت بفضـل سبوتنيك الخامس الثقيل الذي اطلق وأرسل نحو كـوكـب الزهرة رائزاً فضائياً في حين كان يسير في مداره (1961/2/12) وهذا الاسلوب في الاطلاق الذي فتح سبلاً جديدة يقتضي التحكّم الكامل بتقنية دقيقة للغاية .

المبـادلات مع الأرض ـ لقـد أشرنـا بصورة مـوجزة إلى الـدور الاساسي الـذي يلعبـه قيـاس المسـافات من بعيد ، ويقتضي الامر ترجمة الاشارات التي يُرسلها القمر الصناعي إلى مؤشرات في أجهـزة القياس . وهـذه التقنية قـد تم انجازهـا في المختبـرات . ولكن البث الصـادر عن الاقمـار الصناعية يطرح مسائل خاصة . إن وزن مصدر الـطاقة محـدود . من جهة أخـرى انها جميعـاً تدور فوق اليونسفير الذي يربك البث . في الواقع إن الاتصالات مع الاقمار الاصطناعية كـانت موضـوع تحسينات كبيرة ، وكانت الخطوة الاولى ، منذ أول ڤانغارد ، العناية بالبـطاريات وتغـذيتها بـالطاقـة الشمسيـة . وقد استفـاد سبوتنيـك 3 من نفس التقنية وكـذلك غـالبية الأقمـار الأخرى المخصّصـة للبحث ، وسرعان ما ظهرت الاجنحة التي تنتشر أو تفتح بعد الاطـلاق والتي تحمل آلاف العنـاصر التصويرية الحساسة .

وطرح عدد الاقمار الصناعية مسألة التشويش في التـواترات المستعملة ؛ ولهـذا قصرت مـدة البث ، بصورة مسبقة على مدة شهر ثم ثلاثة أشهـر (حالـة تيروس Tiros) ثم على سنـة في أقصى الحالات . وكان هناك حل آخر ، مفيدٌ جداً خاصـة في حالـة الروائـز الفضائيـة ، لانه يقتصـد في الطاقة ، وقوامه اثارة البث في كل مرة ، لوقت قصير ، بناءً على أمـر مرسـل من الارض . ومزجت هذه الطريقة مع التسجيل على شريط مغناطيسي لكل المعلومات بما فيها صور آلات التصـوير كمـا كان الحال في سلسلة تيروس ، ممّا أتاح جمع كل النتائـج بواسـطة محطة أو محـطتين متخصصتين في هـذه العملية ، وليس وفقـاً لسلسلة تغطي كـل المدار . وقـد تم تحقيق هـذه الاتصـالات عبـر مسافات متزايدة : 400 ألف كلم في لونيك واحد ، 700 ألف كلم مع پيونير 4 ، و 36 مليون كلم مع پيونير 5 ، 100 مليون كلم مع مارينر II ومارس واحد 1962-1963 .

استعادة الكبسولات أو الاقمار الصناعية ـ من المفيد جداً امكانية التنصت على الاشارات الصادرة عن مركبة فضائية . ولكن بعض الدراسات وخاصة تلك التي تتناول شروط الرحلة البشرية ، خاصة عندما يوضع أفراد من البشر أو عينات في القمر الصناعي ، تفترض أن نعيد إلى الارض قسماً على الاقل من القمر الصناعي مع المعدات والتسجيلات أو الاشخاص .

تلك كانت الغاية الاساسية من سلسلة ديسكوفرر. ان الكبسولة (170 كلغ) تنفصل أثناء الطيران بناء لأمر ، وتعود إلى الارض ونظرياً ، بعد نشر المظلة في المرحلة الاخيرة ، لتلتقط داخل اشباك تجرها الطائرات . وقد تمت العملية في منطقة جزر هاواي ، وكان الامل بالنجاح مضموناً اذا وقعت الكبسولة في البحر على ان تلتقط بسرعة ما . وقد نجحت هذه العملية البهلوانية تماماً . وابتداءً من آب 1960 التقط الاميركيون بهذه الطريقة عدة كبسولات .

وعندما بدأ الاتحاد السوفياتي سلسلة مركباته الفضائية الثقيلة ، متأخراً قليلاً ، كان الهدف هو ذاته . ومنذ المركبة الأولى جرت محاولة الفصل . ولكن الأجزاء ارسلت في مدارٍ أطول .

وبأقرب وقت أمكن استرجاع المقصورة المعزولة سالمة بما فيها من حيوانات تجربة ، واخيراً ، امكن استرجاع أول مسافر بعد دوران (12 نيسان 1961) ، ثم ثان بعد أربع وعشرين ساعة (7 آب 1961) . واطلقت الولايات المتحدة كبسولات مركوري المأهولة ، لثلاث دورات (20 شباط و 24 أيار 1962) ، ثم لسبع (3 تشرين أول) ثم لسبع عشرة (14-15 أيار 1963) . وانطلقت مركبتا فوستوك مأهولتان من الاتحاد السوفياتي في 11 و 12 آب 1962 ، بخلال فترة فاصلة مدتها 24 ساعة واقتربا إلى أقل من عشرة كيلومترات فوق مداريهما ثم استرجعتا إلى الارض وبين الواحدة والأخرى عدة دقائق في 15 آب . وكانت مركبتان قد دارتا من 14 ومن16 إلى 19 حزيران 1963 .

الاقمار المتخصصة ـ يبدو ان التقدم أخذ بعد ذلك يتفاعل بذات الوقت باتجاهين : اتجاه سفرات الانسان ، التي بقيت خجولة حتى ذلك الوقت (قمر منخفض ، وفيما بعد بقرب القمر) ، ثم اتجاه الدراسات الخالصة التي لم تكن الهدف الوحيد . وبدأت التطبيقات العملية . ونذكر بعضاً من الوظائف الخاصة التي اسندت إلى اقمار خاصة ابتداء من 1960 .

لقد تمَّ باكراً التفكير في تكليف الاقمار بأخذ صور للانظمة الغمامية ، اذ من ارتفاعها الذي هي فيه ، تستطيع ان تعطي صوراً عن المجملات الكبرى وعن تطوراتها . وبعد محاولة بدائية بواسطة ڤانغارد 2 ، اطلقت الاقمار الصناعية الحقيقية من اجل دراسة الطقس : التيروس (القمر الصناعي التلفزيوني وذو المدار تحت الاحمر) . كانت هذه الاقمار مزودة بكاميرتين ذاتي بؤرة مختلفة ، وأخذت تقل بناء للطلب الصور المسجلة على شريط مغناطيسي . لقد كلّف كل قمر أن يبثّ طيلة ثلاثة أشهر ؛ ورغم ان السبعة ما تزال تدور دائماً ، فان الاخير منها وحده بقي ناشطاً . إن تيروس 1 ، الذي أطلق في أول نيسان 1960 ، قد أرسل حتى آخر حزيران 22952 صورة فوتوغرافية . وكانت النتائج رائعة ، وربما انقذت حيوات كثيرة ، حين أشارت إلى أعاصير (سيكلون) منذ بدايتها بعيداً عن الأرض ، حيث أمكن اعطاء الانذار مسبقاً .

وقد تم التفكير أيضاً بالاقمار الصناعية المتواصلة من اجل الاتصالات ، وهذا تحت مظهرين : المرآة البسيطة ذات الموجات (انه البالون الكبير ايكو « الصدى » ، وقطره 30 متراً ، ثم تبعته بالونات اخرى اكثر علواً ، حوالى 3000 كلم بدلاً من 1600) والآلة التي تتلقى ، وتسجل وتنقل في نقطة ما من مدارها بناءً للطلب : انه « الكورييه » العجيب 1 (4 تشرين أول 1960) . ان هذا القمر حمل خمس مسجلات ذات شريط مغناطيسي (4 من اجل التسجيل اللاسلكي (télétypie) وواحد من اجل التلفون اللاسلكي) والتي كانت تعمل بواسطة 1300 ترانزيستور ، ويغذيها 2000 عنصر « احساسي ضوئي » تعيد شحن وتعبئة بطاريات صغيرة جداً من النيكل والكادميوم . ان الوظائف الثلاث (التلقي والتسجيل والبث) يمكن أن تتم بآنٍ واحدٍ بسرعة هائلة من 70000 كلمة في الدقيقة . ان هذا القمر حضّر للمشروع ادفنت Advent الذي تضمن ثلاثة أقمار متشابهة فوق مدار استوائي لمدة 24 ساعة (بارتفاع 35000 كلم) والذي اتاح ربط العالم بأكمله أيضاً بالاتصالات العادية وكذلك ببرامج (تلفون ، تلغراف ، مع التخفيف من عبء الشبكات القائمة . في 10 تموز و 13 كانون أول سنة 1962 اطلق تلستار Telestar ، ثم ريلي Relay اللذان تلقيا وضخّما وبثّا مباشرة الوسائل والبرامج (تلفون ، تلغراف ، تلتيب « مسجل لاسلكي » ، برامج تلفزيونية) ؛ وقد بلغا على التوالي ارتفاعات من 5600 كلم ومن 7500 كلم ، أمنت لهما تحقيق الاتصالات بين القارات طيلة مدةٍ ما (لمزيد من التفصيلات حول هذا الموضوع ، راجع دراسة ب . مارزين وج لوميزك ، الفصل IX من القسم الثاني) . واطلق تلستار 2 في 7 أيار 1963 .

ويمكن استعمال الاقمار الصناعية كمنارات ضوئية للملاحة . وهنا أيضاً لا بد من وجود أقمار عدة ، والمشكلة هي في معرفة مواقعها الصحيحة . ان التجربة جارية مع « الترانزيت » (اطلقت أربعة منها) تتحكم بها ست محطات خاصة . وترسل الارصاد بواسطة التلتيب إلى مركز الحساب الذي يذيع عناصر المدار . ان هذه المدارات ترسل إلى القمر الذي يفسرها بذاته بحيث يبث التوقعات المرتقبة على طريقة المستقبلية . نذكر ان اثنين من هذه الترانزيت اطلقا بذات الوقت مع قمر ثالث ، بواسطة صاروخ وحيد ، والاخير اطلق بواسطة صاروخين آخرين . ومن اجل تشكيل مرجع صالح للاتجاه فقد بث على موجات ذات وتيرات خاصة .

وهناك تطبيق عملي قريب هو القمر الصناعي الجيوديزي . وشرط الحصول منه على ارصاد للموقع دقيقة جداً ، ان مثل هذا القمر يتيح ربط الاراضي المعزولة بالشبكة العامة ، وكذلك يتيح درس هيئة الأرض المائية(géoïde) أو بصورة أدق أسطح مستوى زخم الجذب . وقد بث أول قمر جيوديزي آنّا B1 (31 تشرين أول 1962) ، اشارات موجزة ضوئية ، بشكل يضمن تتابع وتتالي المواقع المستهدفة بشكل أوتوماتيكي .

نذكر تطبيقاً كان من السهل استباقه ، وهي الاقمار الجاسوسة : ميدامس ، وساموس الخ . واستهدفت هذه الاقمار أساساً الاكتشاف الباكر لانطلاق صاروخ عابر للقارات مهم وكذلك اكتشاف الانفجارات النووية .

وأخيراً ان المركبات الفضائية ـ دون أن تسلب الصواريخ الاوتوماتيكية جدواها ، نظراً لكثرة

عددها ولمدتها ـ فتحت إمكانات ضخمة . ويمكن ـ في مجال البحث ـ توقع ملاحظات ارصادية رئيسية سواء باتجاه الارض أم باتجاه الكواكب ؛ كما يمكن أيضاً ، وفي مستقبل بعيد ، توقع استكشاف الاجسام الخارجية ، بتقريبها من بعضها البعض أولاً ، ثم بوضع اجهزة فوقها وربما رُصَّادٍ . ولكن هذا يقودنا بعيداً عن القمر الصناعي ، كما يأخذ بنا بعيداً في المستقبل .

النتائج ـ في تاريخ للاقمار الصناعية ، ورغم ان التجربة ما تزال في طور النمو والتطور ، ربما كان من المناسب الكلام عن النتائج الأولى . ان الاستكشاف بواسطة السبر المباشر كان يقف في السابق عند حدود الاربعين كيلومتراً ارتفاعاً ، ومنذ عهد قريب ، اتاحت الصواريخ التحليق السريع لحدود 500 كلم . ان القمر الصناعي مدَّ البحث عشر مرات أعلى ، والرائز الفضائي بلغ المسافات بين الكواكب ، ولكن القمر الصناعي أتاح ، فضلاً عن ذلك دراسة متابعة عملياً . ومن جهة اخرى انه يستكشف فقط وسط مروره ، بل كل ما له صلة به ، مثل الاشعاعات المتنوعة ، وهو يستطيع أيضاً نقل ما يراه ، سواء من جهة الارض أم من جهة السماء . وهو ، كموضوع مادي ، يقيس بحركته كثافة الفضاء الاعلى ، ثم بفضل اضطرابات هذا الفضاء يقيس شكل الارض .

ونفهم ، ضمن هذه الشروط ، ان نتائج جديدة تماماً ، أو تحسين المعطيات السابقة ، قد تم اكتسابها بكميات .

في بداياته ، قدم سبوتنيك 1 كثافات قدمت كشفاً أولياً ؛ ان استكشاف المعطيات الموجودة اعطى أربع عشرة مرة أكثر . واليوم تقام جداول بالكثافات ، وأفضل من ذلك ، أمكن تتبع التغييرات مع النشاط الشمسي .

إن درجات الحرارة لا يمكن أن تميز وسطاً شبه فارغ ، ولكنها تسجل حالة توازن بين احترار القمر الصناعي بالشمس واشعاعه في الفراغ ؛ ومهما كان السبب ، فانها تتحكم بالحياة في مركبة فضائية ، وحتى التشغيل الصحيح لمختلف الاجهزة والبطاريات . وقد تم اذن درس درجة حرارة السطح بعناية فائقة ، مختلف جوانب الاقمار . كما تمت السيطرة اثناء الطيران على أنظمة التحكم الحراري .

وقد أفرد مكان كبير لقياس الاشعاعات ولاحتساب المتصاعدات radiations الاشعاعية الجسيمية التي يتلقاها القمر الصناعي : فوق البنفسجي ، تحت الاحمر ، اشعاع غامّا γ ومناطق متنوعة في الطيف الشمسي ، والاشعة الكونية ، الخ . لقد سبق وأتاحت الصواريخ رسم ايزوفوتات Isophotes على بعد 1300 Å لبعض اقسام السماء ؛ ومن المأمول وجود اقمار صناعية فلكية قادرة على رصد شيء أو عدة أشياء محددة .

لقد درست الاقمار أيضاً الحقل المغناطيسي والكهربائي الثابت حول الكرة الارضية ، والجسيمات المشحونة الموجودة في الوسط ، والافجار القطبية . ومن اكتشافاتها الكبرى كان اكتشاف المناطق المسماة مناطق « ڤان آلن » باسم الفيزيائي الاميركي الذي نجح في اكتشاف عدة ارتفاعات حيث يظهر تزايد مفاجيء في الاشعاع . ان المنطقة الاولى تقع بين الف والفين من الكيلومترات ، والثانية عند حوالي 25000 كلم . ان الروائز الفضائية ، وحديثاً الاقمار الصناعية

ذات المدار الخارجي جداً (البعيد عن المركز) التي كان هدفها الأول الريازة ، كان ضمن برنامجها دراسة المنطقة الثانية ، والبحث عن مناطق اخرى ممكنة ، ابعد من ذلك .

في مجال الجيوديزيا ، أمكن الحصول بسرعة على قيمة التسطح الارضي ، بشكل أفضل من الشكل المستخرج بواسطة القياسات الطويلة والدقيقة عن الكرة الارضية . وقد ربطت بالشبكات القارية جزر بعيدة .

نذكر الانجاز العظيم الذي حققه لونيك 3 (تصوير السطح المقابل للقمر) ، نذكر أول استكشاف عن قريب لكوكب (مارينر الثاني قرب الزهرة) والطيران المتعدد باتجاه القمر بواسطة رانجرس Rangers (1962) وقد تحطم احدها في القمر بعد لونيك الثاني في أيلول 1959 . نذكر أخيراً انه تضاف إلى النتائج الرائعة العلمية العمليات النافعة التي قامت بها سلسلة تيروس ، وتلستار ، وريلي ، التي استفاد منها العالم كله ، للاستنتاج بأن الاقمار الصناعية مدعوة لمستقبل يمس اكثر فأكثر حياتنا اليومية .

XIV ـ الكوسمولوجيا (علم وصف الكون) والكوسموغونيا (أو علم تشكل الكون ونشأته)

تصف الكوسمولوجيا الكون في حالته الحاضرة وتبحث عن القوانين التي تحكمه . اما علم الكوسموغونيا فيدرس الشروط التي سادت ولادة الكون . وتطوره ، كما تترصد مستقبله .

من حيث المبدأ ، ان هذين الفصلين من علم الفلك منفصلان بوضوح . الاول يقوم على رصد دقيق للظاهرات وينتهي باعلان قوانين دقيقة ؛ انه فصل علمي خالص . اما الاخر فله مذهب أو مسار أقرب إلى الفلسفة ، واكثر ان يكون احتمالياً . ان الكوسموغونيا ، حين تبحث في ماض أو مستقبل بعيد جداً ، فانها تكتفي بحلول احتمالية ، حول الحالة الحاضرة من معارفنا ، وتستطيع أيضاً أن تقترح حلولاً عدة ؛ فقد ساد التردد ، مثلاً ، في التشخيصات المتعلقة بمصير الارض . فهل هي معدة لموت بارد ؟ أو هل تفنى البشرية ، بالعكس ، بفعل ارتفاع حرارة الكرة الأرضية ؟ في الماضي كانت الحالة الاولى هي المحتملة . اما اليوم فيميلون إلى الحل الثاني [أي فناء الكون بالحرارة] . فالشمس معرضة لأن تصبح ، بعد مليارات من السنين ، نجمة كبرى حمراء . ولكن الشكوك حول هذه الاحكام عشوائية وكثيرة ، لانها لا تحسب أي حساب للحوادث الطارئة (فالتصادم ، وإن كان غير محتمل ، الا انه غير مستحيل بشكل مطلق) والتي ترتكز على معرفة ما تزال غير كاملة للتفاعليات النووية ، ولخصائص كواكب مثل الشمس .

وكلما قلت معرفتنا بالعالم ، كلما سهل علينا تفسيره . ان الشعوب البدائية ، والناس البسطاء يخوضون في علم نشوء الكون (كوسموغونيا) براحة أكثر مما يتكلمون في علم الفلك .

ان الكتب المقدسة ، في كل الاديان ، ترتكز على كوسموغونيات بسيطة إلى حد ما ، كان الناس في القديم يأخذونها على حرفيتها ، أما اليوم فتأخذها السلطات الدينية باعتبارها رموزاً .

ان تطور الافكار حول الكون ، بخلال التاريخ البشري ، سلك مسلكاً عجيباً لدرجة انه أثار الشكوك حول الفرضيات الكوسموغونية .

إلا انه ، اذا كان التمييز بين الكوسمولوجيا والكوسموغونيا ، له ما يبرره ، عندما ننظر إلى المجال السماوي الاقرب إلى الارض (مثلاً ، عندما يتعلق بالامر بالنظام الشمسي ، او عند اللزوم ، بمجرتنا) ، تزول الفروقات ، بعد ذلك ، عندما ندرس الاقسام الاكثر بعداً في الكون ، هذه الاقسام التي اصبحت اليوم في متناولنا .

ان الاشياء الاكثر بعداً ، والتي قيست مسافتها سنة 1963 ، تقع منا على مسافة تعادل تقريباً مليارات السنين الضوئية . ومن بين الصور الضعيفة للمجرات البعيدة التي سجلت في جبل بالومار توجد صور أكثر بعداً . وما تزال تنتظر أيضاً ساعتها من أجل بلوغ الهدف ـ على عشرة مليارات سنة ضوئية مثلاً .

الواقع ، اننا نرصد هذه المجرات في الحالة التي كانت عليها منذ خمسة أو عشرة مليارات سنة . ان الرسالة الضوئية تعطينا صورة عن ماضٍ بعيد . وقد دخل عنصر الوقت تلقائياً في علم الفلك الوصفي (كوسمولوجيا) : ان نفس الكليشه تحمل صوراً يتسلسل عمرها بين صفر ومليارات السنين . ان هذه الفترة من الزمن ليست جديرة بالاهمال على الصعيد الكوسموغوني : ان الارض ليست موجودة الا منذ 4,5 مليار سنة ، وعمر شمسنا يتراوح بين 5 و 6 مليارات سنة ، ومجرّتنا بالذات ، وهي شيء مختلف التكوين وذات حلقات معقّدة ، لم تكن بعد قد تكونت بخلال أكثر من اثني عشر ملياراً من السنين .

لنقل ، حالاً ان بعض الفلكيين يميلون إلى سلم للزمن اطول بكثير بالنسبة إلى المجرات . فبدلاً من تطور تدريجي ، يرتؤون وجود تفاعليات (حتى الآن غير مثبتة) حفظت هذه الكتل الكوكبية في حالة ثبوتية ، وذلك ببث مادة جديدة أو عن طريق اعادة تذويب كواكب شاخت في اتون البؤرة المركزية . ان غالبية المتخصصين لا يوافقون على هذه المفاهيم الجريئة ، ولكن المثل يكفي لتبيين انه لم يعد بالامكان فصل الكوسموغونيا عن الكوسمولوجيا . ان زياراتنا تذهب بعيداً لدرجة انها تضع تحت اعيننا حالاتٍ تتدرج على طول مدة الحياة التي نعزوها للنجوم العادية الطبيعية .

إن الجماهير الواقعة تحت الرصد من المجرات البعيدة جداً تنتمي حتماً إلى أجيال سابقة على الاجيال التي نرصدها ضمن مجرتنا . ان لون هذه المجرات ، وصفاتها الطيفية ، وحركتها وديناميتها عندما نستطيع تحليلها ، تعلمنا الكثير عن الماضي البعيد لدرب المجرة ، مجرتنا . فضلاً عن ذلك ، واذا كان الفضاء ، كما يظن الكثيرون ، في حالة توسع ، فانه يتوجب علينا أن نجد الاشياء البعيدة اكثر التصاقاً فيما بينها ، وذات كثافة أكبر في الفضاء . إن احصاء صور المجرات ، ذات الضخامة المتزايدة (أي ذات البريق الاكثر فاكثر ضعفاً) يجب ـ في السنوات المقبلة ـ ان يستخدم كرائز للفرضية الكوسموغونية الاكثر عظمة ، فرضية الكون في حالة التوسع . ان المصادر الضوئية البعيدة ، التي تتماهى مع المجرات المتوهجة (في حالة الاصطدام أو في

حالة التوليد) تعطي مؤشراً ايجابياً يدل على هذا التنافر الظاهر في أعماق الفضاء ، تنافر ينم عن ماضٍ بعيد .

إن الكوسمولوجي ، بدون أن يحس ، ودون أن يريد ، قد أصبح ، في أيامنا ، كوسموغونياً مناضلاً ، رغم المخاطر ورغم المنازعات التي يحتملها هذا المجال . ويمكن الفرح بذلك : ان هذا يدل على ان الكوسمولوجيا التي كانت في الماضي أيضا موضوع فرضيات غير مؤكدة تماماً ، وموضوع طروحات شخصية ، قد أصبحت مجالاً لعلم حق . اننا ما نزال في البواكير : واذا استثنينا المستحدثات (النوفا) ، فان البراهين الاولى المحددة حول تطور الأجسام السماوية ، والسمات الرئيسية لهذا التطور وتفسيرها النظري ، هي مكتسبات من العشرين سنة الماضية أو بالكاد تكون كذلك .

إن الشكوك ، في الساعة الحاضرة ، وخاصة الشكوك المتعلقة باتساع الكون ، سوف تزول في مستقبل قريب . لا شك ، ان الألغاز اليوم سوف تستبدل باخرى ، ولكن وضع الكوسموغونيا قد تغيَّر جذرياً بسببها : ان عالم الفلك قلما كان ميالاً في الماضي إلى الجدل فيها . ألم يقدم لابلاس ذاته فرضيته الشهيرة الكوسموغونية مقرونة « بالحذر الذي يجب أن يوحيه كلّ شيء ليس نتيجة الرصد أو الحساب » ؟ ورغم هذا التحفظ المسبق ، فان فرضية لابلاس ، بعد قرن من الشهرة الاسطورية ، هي القسم الاكثر ضعفاً ، والاكثر اهتزازاً ، في عمله ، رغم صحة الظاهرات التي انطلق منها للعودة الى اسبابها ، ورغم دقة الاستنتاجات الميكانيكية . ان الفيزياء ، في أواخر القرن الثامن عشر ، لم تكن مؤهلة لأن تقدم له دعماً جدياً ، كما ان ظاهرات جديدة قد أفسدت عمومية ركائزه الانطلاقية (اكتشاف الدوران التقهقري (إلى الوراء) مثلاً) . واليوم ان تقدم الكوسمولوجيا ، والكوسموغونيا يتبع من قريب جداً تقدم الفيزياء الطليعية ، التي بها تتماهى الفيزياء النجومية غالباً .

تذكير ـ حتى القرن الثامن عشر ، قام علم الفلك على دراسة النظام الشمسي ؛ فالكواكب وترتيباتها ، اللامتغيرة ظاهرياً ، قد لعبت دور نقطة الارتكاز ، ودور شاشة العمق ، بالنسبة إلى مسلر المشهد الاساسي القائم على تحركات الكواكب السبعة المتحركة ـ وهي العناصر الوحيدة المعروفة ، حتى ذلك ، في النظام الكواكبي .

وانه ، في حوالي منتصف القرن الثامن عشر ، قد ظهرت المحاولات الاولى من اجل تفسير الكون النجومي : وكانت هذه المجالات من صنع الفلاسفة ، والعقول المفتوحة على العلم ، انما من غير المتخصصين في علم الفلك . وكان من الطليعيين توماس رايت Wright (نظرية اصيلة أو فرضية جديدة حول الكون 1750) . ثم نعثر على بحث الفيلسوف الشهير امانويل كانت E. Kant « التاريخ الكوني للطبيعة ونظرية السماء » (1755) الرامي إلى تفسير بناء الكون ، سنداً لمبادىء نيوتن . كان كانت قد قرأ وأعجب برايت . وأخيراً جاء جوهان هـ . لامبير في كتابه « رسائل كوسمولوجية » (1761) . وقد اتفق هؤلاء المؤلفون الثلاثة على اعتبار درب التَّبانة ، وهو تجمع قوي للنجوم ، وكأنه العنصر البنيوي الاساسي . لقد فهموا بأن انظمة النجوم المرئية ، ليست شريطاً ، ولا حلقة ، بدون سماكة كبيرة ، بل هي تراكم عميق مسطح ، بشكل صحن ، قطره أكبر بكثير من

سماكته . وتصور الثلاثة جميعهم وجود أنظمة مشابهة معزولة ، تأهل الفضاء اللامتناهي .

كوسموغونيا النظام الشمسي ـ الاعتراضات على النظريات الكلاسيكية ـ فضلاً عن ذلك طور كانت أيضاً ، حول ولادة النظام الشمسي ، افكاراً قرنت فيما بعد بأفكار لابلاس ، فأحدثت تأثيراً طويلاً ممتداً . ولكن كانت Kant ارتكب عدة اخطاء في الميكانيك الاولي ، كان لابلاس قد تجنبها طبعاً . فقد انطلق من سديم لا شكل له من الغاز النادر ، فافترض انه تحت تأثير الجذب الكوني وحده ، يمكن لهذا الغاز ان يتكثف بشكل نجوم : الواقع ، ان جزيئات الغاز تبعثر في الفضاء بدلاً من ان تتجمع . واعطى لابلاس لنفسه ، وبصورة مسبقة ، منطقة مركزية كثيفة ، كان جذبها يتيح استمرار وبقاء النظام .

فضلاً عن ذلك لم يزود كانت سديمه الاساسي باي دوران اصلي . ولو لم تكن « عزوم الدوران » محفوظة ، عندما لا يأتي أي عامل خارجي عن النظام فيخربها (مبدأ الجمود) ، لكان نظام كانت عارياً من الدورانات . فضلاً عن ذلك تبقى الدورانات تضايق ، حتى في نظام لابلاس ، لان الشمس التي تستقطب 99% من كتلة النظام باكمله ، لا تدور حول محور عامودي فوق السطح الوسط ، سطح المدارات النجومية ، كما كان هو المتوقع قديماً . ان ميلها هو بمقدار سبع درجات فوق هذا السطح ، وهو امر ليس بالقليل الذي يهمل . ومن جهة أخرى ، تتوزع لحظات الدوران توزعاً غريباً فريداً في النظام الشمسي الحالي . ان الشمس ، الكثيفة الكتلة جداً لم تحتفظ الا بثلاثة بالمئة (3%) من عزم الدوران الشامل والأساسي لأنه يبقى ويحفظ ، في حين ان الكواكب ، التي تمثل اقل من واحد على سبعمائة من الكتلة الاجمالية ، تمتلك 97% من عزم الدوران الاجمالي . ان تفاعلية التقلص البطيء والمنتظم في سديم لابلاس لا يمكن ان تعبر عن هذه المفارقة[1] .

ومن اجل معالجة هذه المفارقات افترض العديد من علماء نشأة الكون ، التدخل الكارثي نوعاً ما ، تدخل كوكب أو عدة كواكب مخربة ، عند نشأة النظام : صدمة أو نصف صدمة بنجمة أخرى ، ولدت انواء قوية ، أو تدخل كوكب توأم ، أو تدخل نجمة مثلثة ، الخ . ويقدم الخيال عدداً غير محدد تقريباً من التركيبات ، القليلة الاحتمال طبعاً ، والقلية الضرورة هي الأخرى .

وهناك حجة معاكسة لفرضية كانت ـ لابلاس ، ولفرضية الانواء أيضاً ، وهي الميل إلى التشتت الغازي . ان الاضطراب الحراري يمنع تركز حلقة أو خاتم من الغازات ذات الكثافة الضعيفة ، وبصورة أولى ان مذنباً filament ذا درجة عالية من الحرارة منفصلاً عن الشمس ، بتأثير من موجة هائلة ، يتشتت في اللحظة تقريباً في الفضاء بدلاً من ان يتجزأ ومن ان يتخثر بشكل كواكب .

---

(1) من المفيد جداً ان نلاحظ ان المفارقة لا تتكرر في الانظمة الجزئية التي تشكلها الكواكب وتوابعها . ان التوابع الكثيرة العدد ، بالنسبة الى (المشتري) أو الى زحل ، لا تمتلك الا عزم دوران شامل ضعيف جداً بالنسبة الى عزم دوران كوكبها .

وفي أيامنا ، يفضل العلماء البحث عن تنظيم النظام الكوكبي انطلاقاً من شمس أولي Protosoleil ، انطلقت من وسط مكون من جزئيات جامدة متحركة في جوارها ، ومزودة أولاً بالدوران الضروري .

وهناك عدة نظريات حالية (فون ويزساكر ، كويبر) تتفادى العثرات السابقة ، تحاول ان تأخذ في الحسبان ، أيضاً ، الصفات الرئيسية البارزة ، مثل قانون المسافات الكواكبية بين تيتيوس - بود (راجع مجلد III) . ولكن هذه النظريات ، تأخذ الجانب السهل الجميل ، حين تنطلق من حالة أساسية ، شديدة التماسك ، وولادة الانظمة الثانوية (التابعات) تقترن فيها بشكل قلما يرضي .

والخلاصة ، فيما يتعلق بالنظام الشمسي ، اذا كانت الكوسموغونيا ترى ، منذ الآن ، العقبات التي يجب تفاديها ، فان أي حل مرضٍ تماماً لا يفرض نفسه بعد ؛ ان وجود النظريات المعارضة والظهور الكثير لاقتراحات جديدة يدل تماماً على ان المسألة ما تزال مفتوحة .

الكوسمولوجيا ذات المستوى الكبير - مجرّتنا - بين 1780 و 1820 ، ازالت اعمال وليام هرشل الشك عن تصور « رايت - كانت - لامبير » حول مجرة عميقة جداً ، هي تجمع مسطح من النجوم ضمن قرص إطاره الظاهر ، بالنسبة إلينا نحن الغارقين فيه ، له مظهر طريق المجرة ، مع ما فيه من كتل النجوم ، ومساحاته المعتمة ، وسدائمه البراقة حيث يشتعل الغاز الكوني ، وتفارقه العميق . وأوضح و . هرشل - بواسطة ريازاته الاحصائية ، من ضخامة إلى ضخامة أو من مرتبة إلى مرتبة ، على كل امتداد السماء والتي سماها « المعايير » - بواسطة اعداد ، التراكم التصاعدي للأنجم الرقيقة - المتزايدة البعد - نحو السطح الأوسط لدرب التبانة (مجلد III) .

ولكن كان لا بد من الانتظار حتى سنة 1918 لنرى بروز تقدم جديد أساسي ، غير متوقع ، وذي مدلول كبير ، فلسفياً وفلكياً . وبواسطة الكتل الكروية ، توابع المجرة ، بعدد متساوفي الشمال وفي الجنوب من أسطحها ، ولكنها تتراكم باتجاه القوس ، توصل هارلو شابلي Shapley الى تحديد موقع وبعد مركز الثقل أو الجذب في هذا التجمع الضخم الذي تشكله مجرتنا . وقد لفتت نتيجتان رئيسيتان العقول :

1 - **ان الشمس تبعد 30 000 سنة ضوئية عن المركز - فهي اذن نجمة هامشية ضمن المجرة** . والمظهر التناظري نوعاً ما في الحلقة المجرية ، على طول الدائرة الكبيرة في الكرة السماوية ، قد ولد الفكرة بان الشمس كانت نجمة مجاورة للمركز . ان « مذهب المركزية البشرية » anthropocentrisne الذي نقول به طبيعياً قد تقبل ببساطة هذا الوضع المميز ، المستوحى من الظواهر . وبضربة واحدة ، كان لا بد من الرضى بوضع قليل الامجاد ، شبه هامشي ، لم ينبىء به اي مقياس أو معيار ، قديم أو حديث . ان كل الاحصاءات الكواكبية في القرن التاسع عشر والعشرين توحي بتراجع وتضاؤل الكثافة الفضائية في النجوم ، في كل الاتجاهات . ونحن نعرف منذ 1930 ان امتصاص الضوء ، بواسطة الغبار الموجود بين الكواكب ، هو السبب الرئيسي في هذه النتيجة الكاذبة . ومن جهة أخرى ، عين شابلي مكان برج القوس

وكأنّه الكوكبة حيث يقع ـ توقعاً ـ مركز المجرة .

2 ـ ان قطر المجرة هو من مقياس 100 000 سنة ضوئية ـ وهذه النتيجة الثانية (المصححة والمحررة من تأثير الامتصاص بين النجوم) تدل على مقدار الضخامة غير المتوقعة في التجمعات الكبرى من النجوم . حتى تلك الحقبة ، كان مقياس الضخامة 10 000 سنة ضوئية (10 000 a.l) يدل على اقصى مدى للاستقصاءات الاكثر تقدماً .

ان نتائج شابلي قد تأكدت بعد مضي عشر سنين بفضل التثبت من الدوران المجري . ان الهولندي يان اورت Jan Oort قد بيّن ان الشمس تدور ، كدائرة بسرعة 215 كلم في الثانية حول مركز عيّنه شابلي ، على بعد 8,2 كيلو بارسكس (حوالي 28000 سنة ضوئية) .

ان هذه السرعة الدائرية تكفي لتحديد مقدار ضخامة الكتلة الشاملة للمجرة (مع التسجيل بان جذب هذه الكتلة على الشمس يتوازن مع القوة الدافعة نحو المركز في الدوران السابق). ونجد 200 مليار مرة كتلة الشمس .

ان البحوث الحديثة ـ المرتكزة بصورة رئيسية على علم الفلك الاشعاعي (راديو استرونومي ، الخط من 21 سنتم من الهيدروجين الحيادي) ـ قد أتاحت توضيح مرسم عدة لولبات ، حيث الكثافة الغازية والنجومية هي أكثر وأكبر مما هي في الفرجات الواقعة بينها . وهكذا تأخذ مجرتنا مكاناً ضمن عائلة المجرات اللولبية ذات الصور الرائعة الملحوظة .

ان عائلة المجرات تأهل الفضاء ـ انه في سنة 1924 فقط ، استطاع هوبل Hubble ، ـ بعد ان فكك الى نجوم اللوالب في جارتنا الكبرى ، مجرة مسييه Messier 31 في الأندروميد ، ـ ان يضع حداً لجدال طال زمانه حول الطبيعة الحقة لهذه الاشياء اللولبية . ان ضخامة مجرتنا ، قد أوحت للبعض ، بانها تستطيع وحدها ، ان تشكل الكون . وقد اعتقد هذا البعض ان اللوالب هي سدائم داخلة في المجرات . وقد دلّت كليشيهات هوبل بشكل اكيد ان مسييه 31 ذو بنية نجومية مشابهة لبنية درب التبانة عندنا ، بل وانه اغنى واكثر تعقيداً أيضاً . وبواسطة عدة نجوم متغيرة اكتشفت فيه ، حدّد بعده بمليونين من السنوات الضوئية . وهذا البعد هو اكبر بقليل واكثر كثافة من مجرتنا .

والآن نحن نعرف ان الفضاء ، مهما تتبعته ابصارنا ، والتصوير الفوتوغرافي ، والمراصد الضوئية مأهول بمجرات ذات أشكال متنوعة : شبه اكريه ، أو لولبية أو غير منتظمة . وتتجمع المجرات عشوائياً في مجموعات صغيرة أو كتل ، أو ضمن تجمعات واسعة مؤلفة من عدة الاف من الوحدات . ان ساكنات الفضاء غير متساوية على الصعيد الصغير . ولكن إذا نظرنا إلى مجالات كافية نظرة تهمل التجمعات المحلية ، فان ساكنات الفضاء من المجرات تبدو منسجمة وموحّدة الخواص . وفي مطلق اتجاه لا يوجد لدينا انطباع باننا نقترب من مركز أو من طرف .

في هذه المرحلة ، من المستحسن اعطاء التفافة إلى المفاهيم الاولى لدى الاقدمين ، الذين اعطوا للدائرة وللكرة الاولية في مجال علم الفلك الوصفي . ان الوحدات عند عالم الفلك هي

المجرات ، حيث لا مكانة للكرة . وبدلاً من الكرة الجامدة والمغلقة تماماً في القبة الزرقاء ، حلت فكرة تتبع نموذج محتمل للكون في عنبر أو مستودع الجيومتريات غير الاقليدية .

حَيْد طيف المجرات وثابتة هوبل ـ ان الحركة الشعاعية في كوكب ما بالنسبة إلى الراصد تقتضي تنقلاً في الطيف ، تنقلاً يتناسب مع السرعة الشعاعية المتعلقة بالشيء . واذا كان هذا التنقل هو هرب ، فالحيد يحصل باتجاه الطرف الاحمر من الطيف .

ان اطياف المجرات تعطي حيداً $\Delta\lambda$ نحو الاحمر ، كما لو كانت تهرب من الراصد ، اي من مجرتنا بالذات . ويمثل الحيد اول الامر صفات الاثر الكلاسيكي المسمى اثر دوبلر ـ فيزو (خاصة ان $\Delta\lambda/\lambda$ يكون مستقلاً عن طول موجة λ المختارة ضمن الطيف ـ والتحقيق هو بالتأكيد في حدود 1% تقريباً) .

ولكن الحيد يمثل أيضاً خصوصية مذهلة : انه يتناسب مع بعد المجرة المنظورة ، كما لو كانت المجرات تهرب بسرعة تتناسب مع بعدها عن الراصد .

وانه من المسموح به دائماً ان نصف الحيد نحو الاحمر بصيغة السرعة التي تتطابق معه اذا كان الأمر يتعلق بمفعول دوبلر ـ فيزو العادي . ولكن ، وللتذكير بان الامر يتعلق بالواقع بظاهرة اكثر تعقيداً ، حيث يتدخل البعد (الذي يستقل عنه مفعول دوبلر العادي) ، نسمّي هذه السرعة الرمزية « سرعة الانحسار » .

واكتشاف الظاهرة الاساسية يستحق بعض التوسيع .

كان الرائد في هذا المجال و . م . سليفر . في فلغستاف (اريزونا ـ الولايات المتحدة) ، الذي قاس ، بين 1912 و 1922 ، اثنتي واربعين سرعة شعاعية لمجرات ، وعرف بانها كانت إلى حد بعيد ايجابية (سرعة الهرب) ، والذروة في هذه الحصة كانت + 1800 كلم في الثانية .

وتفسر بعض الشذوذات (السرعات السلبية ، والاقترابية) فيما يتعلق بمجرات مجاورة ، بفعل دوران مجرتنا : وهكذا تقترب « مسيه 31 واندروميد » من سرعة 300 كلم /ثانية ، خاصة لان الدوران المجري يحملنا باتجاهه بمعدل 200 كلم /ثانية تقريباً ؛ والباقي وهو 100 كلم /ثانية يعزى إلى انتقال نسبي لمسيه (M. 31) ، ولمجرتنا ، ضمن المجموعة المحلية من المجرات .

وعندما اكتشف هوبل سنة 1924 سيفيديات (شبه اكر) في المجرات المجاورة ، عكف على قياس ابعاد كل السدائم التي حصل سليفر Slipher على سرعتها الشعاعية ـ وذلك حين عير النجوم العملاقة في هذه المجرات . وفي سنة 1928 ، نشر قانون الانتقالات الطيفية المسمى اليوم « قانون هوبل » ، والمعتبر عموماً « كعلاقة بين البعد والسرعة» .

ان الحيد يتناسب مع المسافة او البعد . وبقول آخر : ان سرعة الانحسار تتناسب مع البعد . وسرعة الهرب في كتلة فيرغو Virgo هي بمعدل 1240 كلم /ثانية (قيمة مقررة اليوم بمعدل 32 سرعة شعاعية للمجرات التي هي جزء من الكتلة) . وعزا هوبل الى هذه الكتلة مسافة تعادل 8 ملايين سنة ضوئية .

نحن نعرف اليوم بان المسافات التي عثر عليها هوبل كانت وسطياً سبع مرات أصغر - في حين ان السرعات ظلت ثابتة . ان ثابتة الانحسار تبدو قريبة من 25 كلم /ثانية (بدلاً من 160) في السنة الضوئية كبعد أو مسافة . ان المؤلفات أو المذكرات المتخصصة تشير إلى 75 كلم /ثانية /ميغا بارسك (والميغا بارسك =3,26 مليون سنة ضوئية) .

وفي الوقت الحاضر ، امكن تحديد سرعات شعاعية لاكثر من الف مجرة : وهذه السرعات تتدرج ، في سنة 1962 بين صفر و 000 150 كلم /ثانية (نصف سرعة الضوء) ؛ ويبقى القانون خطياً ، في حدود الثغرات والنقص في قياس المسافات ، وهي ثغرات ضخمة خاصة عند الاقتراب من حدود قدرة الآلات على الادراك . والقانون معني بكل انماط المجرات وبكل اتجاهات السماء .

ان القيمة التي اشرنا اليها فيما يتعلق بقانون هوبل يمكن ان تقبل بصورة مؤقتة باعتبارها الافضل ، بانتظار تغيير اكيد قد يتأخر تحققه عدة سنوات . وهذه القيمة قد تستبدل عندها بقيمة مزدوجة أو بنصف قيمتها : ويجدر العلم المسبق بها .

المسألة الفلكية - ان مسألة شكلٍ اجمالي ، ومسألة بنية جيومترية للكون ، تطرح نفسها كما مسألة شكل الارض . لاول وهلة ، ان تربة الارض تبدو كسطح ، تشوهه هنا وهناك اغوار وحدبات . وان اهملنا هذه التضاريس المحلية ، وان سوينا السطح ، نلاحظ ان الارض مزودة باحديداب اعم وبانغلاقها على نفسها ، فانها تبدو كسطح كروي ، او في التقريب الثاني ، كسطح بيضاوي .

ان المادة النجومية قادرة ، ونحن على يقين من ذلك ، ان تفسد خصائص الفضاء الفيزيائي ، أو بالاحرى افساد الفكرة الخاطئة التي نكوّنها عن فضاء مثالي . في جوار الشمس ، ليس الفضاء اقليديا [نسبة الى اقليدس] : ولا يمكن التشبث بذلك الا بفعل العناد الاعمى . وبصورة تدريجية ، حول الكواكب ، نعثر على انحناءات متنوعة تتناسب مع الكتل المختلفة ومع درجة تركزها .

ولكن اذا تجاوزنا هذه الاحديدابات المحلية ، الا يوجد احديداب عام في الكون ؟ ان المادة التي تغطي الكون بمجمله هل هي عاجزة عن تكبير ما تصنعه كل حبة من مادة حول نفسها ، وعلى مستواها ؟ ونحن ، ما هو السبب الذي يحملنا على ابتغاء الاحتفاظ برسيمة للكون اقليدية ولا متناهية ، مسبقة ، عندما نلاحظ ونتأكد ان الفضاء ليس اقليدياً حول كل نجمة ؟

الحل الانشتيني - وكان لا بد من اصطلاحات تبسيطية ، من اجل محو الحدب المحلية ، فافترض انشتين مادة النجوم مشتّته في الفضاء وموزّعة بشكل موحد . وبقول آخر ان البحوث سوف تنصب على ضباب غازي ذي كثافة ثابتة .

ولكن ما هي القياسات ، وما هي الجيومترية التي تسود في هذا الكون الرسمي ، إذا نحن تمسكنا بقوانين النسبية العامة ؟

لقد أخذ انشتين بصغر سرعات النجوم تجاه سرعة الضوء (وكان العلماء يومها يجهلون مظاهر هرب المجرّات) فافترض عدماً ، الاضطراب الوسط في ضبابها ، وفتش عن حلٍ « ثابت جامد » ، اي قياس مستقل عن الزمن اي ايضاً : عن نموذج مستقر وثابت . ولحسن الحظ ان الفضاءات المتسقة الموحدة الخصائص الملائمة لقوانين الجذب النسبوي عددها ثلاثة : الفضاء الاقليدي (نسبة إلى اقليدس) ، الذي يظهر في حدبته المعدومة ، امام الفيزيائي الحديث كحالة خاصة قليلة الاحتمال جداً ، ثم فضاء لوباتشيفسكي Lobatchevski (اطار أول هندسة غير اقليدية) ، وأخيراً الفضاء الكروي ذو الانحناء الثابت الايجابي ، المغلق (الذي يشكل الغشاء لكرة عظيمة ضخمة) .

في سنة 1917 بين انشتين ان الحلّ الثالث وحده يلائم المسألة كما طرحها ، ونشر معادلات نموذجه الثابت . حيث كانت كثافة ضبابه ρ هي المجهول الوحيد (كثافة يجب الحصول عليها بفضل الرصد والملاحظة) . وتبعاً لـ ρ يتحصل بسهولة شعاع R الكرة الهائلة وكذلك كتلة الكون M. ولكن قيمة ρ ما تزال قابلة للجدل الكبير ـ واهمية النتائج التي توصل اليها انشتين تتعطل اذا كانت فرضية النموذج المستقر والجامد غير صالحة .

الكون في حالة انتشار ـ في سنة 1922 ، اكتشف آ . فريدمان Friedmann ان المسألة الكوسمولوجية تتضمن عدداً غير محدود من الحلول، إذا تم التخلي عن فرضية الكون الجامد . ان نماذج متنوعة من الاكوان تتلاءم مع المعادلات التي وضعها انشتين حول الجذب ، اذا كانت « مقاييسها » تتغير تبعاً للزمن . وبصورة خاصة ، ان النماذج المقفلة (الكروية العظيمة أو البيضاوية) يمكن ان يكون لها « شعاع » أو بصورة اولى انحناء شامل متغير مع الزمن .

اما النماذج المفتوحة (الشديدة التحدب ، هيبربولية ، [القطعية الزائدة] ، أو الشبه اقليدية) فتمتد إلى اللانهاية ، ولكن المسافات المتبادلة في مجراتها تتغير باستمرار .

ان الترابط الملفت بين هذه النتيجة النظرية وظاهرة الهرب الكوني للمجرات ، بقي لمدة طويلة غير معروف، وغير مؤثر. في سنة 1927 قام الأباتي جورج لومتر Lemaitre بوضع نموذج حيث كانت النظرية والرصد بآنٍ واحدٍ ، مرصودين ومتوافقين . ولكن هذه المحاولة بقيت بدورها طي النسيان حتى جاء اليوم الذي امن لها ادينغتون فيه الدعاية والاعلام الواسعين ، حوالي سنة 1930 . ومع لومتر من المستحسن ذكر العديد من الرواد الآخرين ، في مجال الكوسمولوجيا الناشطة ومنهم : روبرتسون (1928) ، هيكمان (1931) انشتين وسيتر (1932) ، وطولمان (1934) ، الخ .

ان نظرية المقاييس المتغيرة ، تتيح تقلصاً كما تتيح توسعاً . ان الرصد هو الذي يوجه الاختيار نحو التوسع . وتوسع الكون هو من خصائص المقاييس والفضاء ، لا من خصائص المجرات ، التي تعطي سرعة ذاتية معدومة ، في زاويتها من الكون ، بالنسبة إلى جاراتها ، من اجل حساب التراجعات المتعلقة براصد معين .

ان هذه النظرية ، رغم درجة التجريد الذي تقتضيه ، وكذلك الجدة الثورية في خصائص الفضاء بين جزائر المادة ، قد كسبت المؤيدين الكثر عندما بين اديغتون سنة 1930 ان الكون الجامد الذي قال به انشتين ، غير مؤهل الا لتوازن غير مستقر . وقد وسع و . هكمان هذا البيان على كل نماذج الكون المقترحة بما فيها الكون الاقليدي ، اللامتناهي ، والذي قال به نيوتن سنة1942 .

من الشرعي إذن الظن بان الانحراف نحو الأحمر في ضوء المجرات يترجم هذه الخصوصية العامة .

ولكن من المؤكد ان نماذجنا الحالية للكون هي من الاكثر بدائية . وهي لا تستفيد اطلاقاً من الإمكانات المقدمة بفضل الهندسات الريمانية ذات الأبعاد الأكثر من ثلاثة ، والتي تختصر الواقع بشكل عشوائي .

فالمغناطيسية الكهربائية ليس لها حساب فيها ، وكذلك الخصائص النووية . ان انشتين وبعضا من تلاميذه لم ينجحوا بشكل مقنع في محاولاتهم لوضع « نظرية وحدوية » ، فيما تنبىء هندسة عليا ، وبآنٍ واحدٍ عن الجذب وعن الخصائص المغناطيسية الكهربائية في الكون . ان معارفنا في مجال الفيزياء وفي الرياضيات ما تزال بحاجة إلى التطوير لكي يصبح التركيب المحتمل ممكناً : ان المسألة لما تنضج بعد .

وكذلك ، لمواجهة الملاحظة بالنظرية ، اننا نحتاج ان نعمق معرفتنا بالمجال الذي سبقت رؤيته ، ثم توسيع هذا المجال الحساس . لان كل المعايير المقترحة من اجل الاختيار بين النماذج المختلفة المنشورة حالياً ، لا تقدم تمييزاً واضحاً الا من مسافة بعيدة جداً : في حدود استقصاءاتنا الحاضرة ، لا تتميّز النماذج المطروحة عن بعضها بشكل ملحوظ . ويطرح السؤال ، فضلاً عن ذلك ، حول معرفة الى اية درجة تعتبر العيِّنة من الكون المتوفرة تحت اعيننا متميزة . في الوقت الذي كان فيه « نظام العالم » يعني نظاماً كوكبياً ، كانت القبة الجامدة للسماء تكفي لكبح الطموح . وفي الوقت الحديث ، عندما اصبح وجود المجرات بالذات غير اكيد ، وعندما شكلت زمر نجوم طريق المجرة ، اساس ادراكاتنا ، فان المسألة المطروحة اليوم لم تكن قابلة للتصور . والواقع انه منذ السنوات 1920 - 1930 ، حيث فتح الباب على عالم المجرات ، اصبح الفضاء المسبور يقدر بمليارات السنين الضوئية بدلاً من بعض الملايين ، دون ان يحدث تغيير في المشهد . لقد انتقلنا من بعض المجرات العملاقة ، المصنفة بدائياً ، إلى إمكانية احصاء مليارات الاعضاء من نفس العائلة ، وذلك من خلال تفحص الصور الباهتة حتى التكبير الرابع والعشرين فوق الكليشيهات التي أخذت في جبل بالومار بواسطة التلسكوب ذي الفتحة البالغة خمسة أمتار ، وهي صور اكثر عدداً بكثير ، خارج طريق المجرة ، من صور النجوم ، المعترضة ، في كل مساحة من القبة السماوية .

ولدينا شعور بان سمات ما يأهل الفضاء سوف تبقى ، بعد الآن ، شبيهة بالسمات التي سجلناها . والعيِّنة الحاضرة ، لا تقل استحقاقاً « للإهمال » اذا كان الكون لا متناهيا . واذا كان الكون مغلقاً ، فان الوضع يكون افضل بقليل ، ولكن عيِّنتنا لا يمكنها ان تصور الا جزءاً بسيطاً من

كل ؛ من هذا نحن على يقين : ان الانحناء القوي قد سبق وتأكد .

ويظن بعض الفلكيين انه بدلاً من المجال المتوسع الذي نجد انفسنا بداخله ، قد يأتي مجال متقلص ؛ وهكذا دواليك تتعاقب المجالات كما تتعاقب العقد والبطون فوق وتر يتذبذب . وانه لمن الصعب جداً رد مفاهيم لم تتخذ بعد ، حتى الآن ، شكلاً دقيقاً ، ولا دعمتها اية واقعة حتى الآن .

لقد كثر اولئك الذين ينكرون تماماً وببساطة التوسع : ان عددهم يتقلص كلما ازدادت تجربتنا واغتنت. وطيلة عدة سنوات ، ولدت نظريات كل صباح ، او تقريباً ، تزعم انها تشرح اختلال طيف المجرات ، دون تدخيل للتراجع . وغالبية هذه النظريات كان كذباً صريحاً . وبعضها الآخر ، افضل تأسيساً في الظاهر ، قاوم بعض الوقت قبل ان ينهار . وفي ايامنا ، اعتقد انه بالامكان التأكيد بدون خطأ ولا اهمال ـ وبعد وضع التراجع جانباً ـ ان اي تفسير لطيف المجرات ، ثابت بالبراهين ، غير موجود . وبالطبع ، ما تزال تنشأ نظريات مناقضة ، بوتيرة بطيئة . ولكن الهجمات الفاشلة ، في الازمنة البطولية ، اعطت النظرية النسبوية حول الكون قوة مطمئنة نوعاً ما بالنسبة الى انصارها .

وافضل العلماء الفلكيين في الوقت الحاضر يقدرون بحوالي مئة سنة المهلة الضرورية ربما لوضع نموذج مكون ، حسن التركيز نظرياً ، مدعوم بمعرفة واسعة بما فيه الكفاية ، يستطيع ان يلائم العلم ربما بمقدار ما لاءمه النموذج الاقليدي الذي وضعه نيوتن . ان جيلنا لن يكون له الحظ السعيد في معرفة هذه النتيجة ـ ولكنه على الاقل سوف يعيش ولادة رائعة للعصر العلمي في مجال الكوسموغونيا أو نشأة الكون .

XV ـ علم الفلك الاشعاعي

1 ـ بدايات علم الفلك الاشعاعي

الطليعيون ـ انه بعد اكتشاف الموجات الهرتزية في آخر القرن التاسع عشر ، بدا سير اوليفر لودج Lodge اول من فكر ان الشمس يجب ان ترسل موجات هرتزية كما ترسل موجات ضوئية . وعكف ديلاندر Deslandres ايضاً على هذه المسألة في مطلع القرن العشرين ، وجرب نوردمان Nordmann بعيد الحرب العالمية الأولى انما بدون جدوى ان يلتقط بثاً كهربائياً اشعاعياً من الشمس .

وبعد ذلك بحوالي خمس عشرة سنة اتاح تقدم الكهرباء الاشعاعية انجاح مثل هذا المشروع .

الرواد ـ الفضل يعود إلى كارل ج . جانسكي Jansky ، المهندس في مختبرات شركة بل للتلفون ، في اول رصدٍ اشعاعي نجومي : وقد جاء هذا الرصد عرضاً بفعل فكرٍ منهجي قوي الفراسة .

في سنة 1932 كان ك . جانسكي يدرس اتصالاً هرتزياً بين انكلترا واميركا الشمالية . وكان يعمل على هوائي (انتان) واسع نوعاً ما يتحرك على موجة طولها خمسة عشر متراً ، ولاحظ تزايداً ضعيفاً في ضجة عميقة (التشويش) في آلاته اللاقطة . ودون ان هذه الواقعة تحدث في كل يوم في نفس الساعة انما كل يوم يسبق موعدها بمقدار اربع دقائق ، موعد اليوم السابق ، واستنتج من ذلك الاصل او المصدر الكوكبي للإشارة التي يلتقطها : وهكذا رصد لأول مرة الاشعاع الهرتزي الآتي من مركز مجرتنا .

وكان الفلكيون مشغولين باهتمامات أخرى ، فلم يعيروا هذا الاكتشاف الذي نشر في مجلة للفيزياء ، كل الاهمية التي يستحقها: ورأوا ان هذا الاشعاع ذو منشأ حراري ، قليل الاهمية وبعد ذلك بحوالي عشر سنين طور اميركي آخر ، غ . ريبر Reber ملاحظات جانسكي .

كان غروت ريبر شاباً يعمل في الكهرباء بدون تخصص ، ودفعه ايمانه بالعصامية وولعه بعلم الفلك الشعبي لان يكون ، ربما ، الممثل الاكثر عفوية لعلم الفلك الاشعاعي . وصنع بنفسه ومن ماله الخاص في باحة داره ، مرصداً اشعاعياً قطره 8 امتار . وضلّلته التأويلات الخاطئة التي كان المحترفون يطلقونها عن الاشعاع المجري ، فحاول ان يستخدم مرآته على طول الموجة 10 سنتيمترات : وكان في عمله هذا يقوم بمحاولة قوية بالنسبة إلى عصره . ولم يحصل على اية نتيجة لان الاشعاع لم يكن ذا منشأ حراري ؛ فضلاً عن ذلك ، نحن نجهل لماذا لم يعمد الى رصد الشمس مع استطاعته ذلك بسهولة ، وبالتأكيد . وأخيراً استطاع ، بواسطة جهازه المزود لموجة اطول ان يرسم اول خارطة مجرية للموجات الهرتزية التي اقتنع بها هذه المرة كل الناس نظراً لاهمية ملاحظاته الرصدية .

ولاول مرة رصد ج . س . هاي Hey في انكلترا وج . ك . ساوثورث في الولايات المتحدة ، وبخلال الحرب ، الاشعاع الهرتزي الصادر عن الشمس على موجات قصيرة ؛ ولكن هذه الارصاد لم يكشف عنها الا في أواخر الحرب .

العقول النيرة ـ ان علم الفلك الاشعاعي ، ربما لانه علم جديد ، قام به أصلاً فرقاء من الشبان الفيزيائيين ذوي الثقافة العامة : ثقافة هواة الرادار ، بخلال الحرب ، هي علم يقوم على كثرة المبادلات والاتصالات الكثيرة بين مختلف العاملين فيه . ثم انه من الصعب في أغلب الأحيان فرز القسم الذي يعود إلى كل فرد ، من كتلة الاكتشافات المهمة التي تميز بها تطوره . علماً بانه من الواجب ان نذكر بعض الأشخاص من ذوي العقول الثاقبة الذين فتحوا السبل الواسعة لانتشاره .

في المقام الاول يذكر ج . س . هاي ، ضابط راداري في انكلترا ؛ اثناء وبعد الحرب ، وبواسطة اجهزة قلما تختلف عن الاجهزة التي كانت تسمح له باكتشاف الطائرات الالمانية ، اكتشف هاي الاشعة المبثوثة والعجيبة الصادرة عن الشمس والتي رافقت الاضطرابات الجوية سنة 1942 ، كما اكتشف اول مصدر اشعاعي غير مجري ، وكذلك ظاهرات البريق أو اللمعان في سنة 1946 ، وأخيراً الاصداء الرادارية لمذنبات النيازك ، في سنة 1947 .

ويذكر ايضاً هـ . ك . فان دي هولست الذي تنبأ في سنة 1945 نظرياً ، بالخط 21 سنتيمتراً

الهيدروجيني ، هذا الخط الذي رصد بعد ذلك بـ 6 سنوات ، وبآنٍ واحدٍ تقريباً في هولندا وفي استراليا وفي الولايات المتحدة .

وأخيراً يذكر الفريق الاسترالي الرائع تحت اشراف ج . ل . بوزي Pouwsey ومعه ج . ج . بولتون Bolton وج . ب . وايلد Wild وپ . ميلز Mills ، وو . ن . كريستياسن Christiansen ، وج . ليتل Little ، الذي تميز عن الأخرين بأنه تصور ورسم غالبية انماط الأجهزة الرصدية المستعملة اليوم في مجال علم الفلك الاشعاعي مثل الكاشف البحري ، والكاشف ذي الهوائيين ، والكاشف المتعدد الهوائيات وصليب ميلز ، والمسجل الطيفي الديناميكي .

وعلى طول التاريخ القصير لعلم الفلك الاشعاعي قدم عالمان روسيان الكثير من الافكار الجديدة في مجال التفسيرات النظرية . وهما : آ . س . كلوفسكي وڤ . ي . جنغسبورغ . ومع ذلك يبدو ان هـ . آلفين هو اول من خطرت له سنة 1950 ، فكرة عزو البث الاشعاعي الى اشعاع (سنكروتروني) مسرِّع للالكترونات النسبوية ذات الطاقة العالية جداً . ان هذا التفسير لم يعد اليوم موضع شك ، ويبقى في اساس العديد من الابتكارات النظرية التي تدخل في ديناميك المجرات كما تدخل في نشأة الاشعة الكونية .

2 ـ تطور الادوات والوسائل

تقتضي الارصاد الاشعاعية الفلكية استخدام ادوات كبيرة ، ومجموعات متنوعة من اجل استخدام هذه الادوات . وازدهار هذه الارصاد قد ارتبط بانشاء مجموعات مهمة كما ارتبط بتطور ادوات الرصد . وانه بفضل تقدم تقنية الرادار بخلال الحرب العالمية الثانية ، تم وضع الأجهزة الضرورية للارصاد الفلكية . ثم انه في الأصل ازدهر علم الفلك الاشعاعي في البلدان الانغلوسكونية ، حيث كان يوجد مجموعات من الفيزيائيين الممارسين المزودين بأدوات رصد مناسبة ، الذين اصبحوا جاهزين في نهاية الحرب : في انكلترا يذكر مختبر كاڤنديش في كامبردج وعلى رأسه م . ريل Ryle ، ومحطة جودرل بانك وعلى رأسها آ . ك . ب . لوڤل Lovell ؛ وفي الولايات المتحدة هناك مختبر الابحاث البحرية ، وفي استراليا نذكر مجموعة كسيرو (C.S.I.R.O) في سدني برئاسة ج . ل . بوزي .

وفي اوروبا الغربية كانت هولندا الاولى بفضل ج . هـ . اورت Oort وهـ . ك . فان دي هولست Van de Hulst ، في مختبر ليد ، وقد لحقت وعوضت النقص الناتج عن الاحتلال الالماني . هذا التخلف استدرك في فرنسا بفضل الاعمال التي أجريت في مدرسة دار المعلمين العليا من قبل ج . ل . ستينبرغ Steinberg وآ . ج . بلوم Blum ، وفي معهد الفيزياء الفلكية برئاسة م . لافينور . وكان لا بد من انتظار مجيء سنة 1954 حتى يتشكل فريق مرصد مودون برئاسة ج . ـ ف . دنيس ، ومحطة الاشعاع الفلكي في نانساي . وفي المانيا انشيء مركز بون في نفس الحقبة تقريباً وانشيء كذلك عدة مراكز مهمة في الاتحاد السوفياتي خاصة في بولكوڤو وموسكو والقرم .

وأخيراً هناك مجموعتان لهما أهمية انشئتا في هذه السنوات الأخيرة في الولايات المتحدة :

مجموعة معهد كاليفورنيا برئاسة ج . ج . بولتون ، ومعهد الجامعات المشتركة في غرين بانك .

كل هذه المجموعات قد زودت عبر السنين بمعدات تتزايد قوتها مثل المكشاف أو التلسكوب الاشعاعي . ويذكر من بين هذه المعدات تلسكوب جودرل بنك وله مرآة بيضاوية الشكل قطرها 75 متراً . وقد شغل هذا التلسكوب سنة 1958 ويبقى هو الاروع . اما المرآة ذات القطر 65 متراً فقد انتهى صنعها في استراليا سنة 1961 ، وهي تبدو اكثر دقة من الاولى .

وكذلك الحال بالنسبة الى التلسكوب الاشعاعي نصف الثابت في محطة نانساي الذي سوف يكون له بشكله النهائي سطح يعادل ضعفي التلسكوبات السابقة .

3 ـ تطور الاكتشافات الكبرى

علم الفلك الاشعاعي والرادار والنيازك ـ ان ج . س . هاي هو اول من اكتشف ان من شأن المذنبات النيزكية ان تعيد الاصداء الرادارية . وهذه التقنية الجديدة المسماة الفلك الاشعاعي الراداري (راديو ، فلك ـ رادار) قد أتاحت في الحال اكتشاف النيازك الاكثر عدداً ، والتي ترصد في النهار كما في الليل .

ومن بين النتائج الحاصلة بخلال السنوات التي تلت ، وبواسطة تقنيات اكثر فاكثر رهافة ، طورها ج . س . هاي بنفسه ، ومجموعة جودرل بنك برئاسة آ . ك . ب . لوفل يجب ذكر اكتشاف مجموعات النيازك الكثيرة العدد ، كما يذكر البرهان النهائي على ان غالبية النيازك تتحرك ضمن مسار بيضاوي وانها تدخل ضمن النظام الشمسي .

ان علم الفلك الاشعاعي الراداري قد احرز بعد ذلك بوقت تقدماً هائلاً ، وكانت الاصداء الاولى حول القمر قد حصلت في الولايات المتحدة في سنة 1946 وحول الزهرة سنة 1958 ، وحول الشمس في سنة 1959 ، وكل ذلك بفضل آلات تزداد قوتها ، طُورّت في الولايات المتحدة .

الكواكب السيارة ـ يعود الفضل بالدرجة الاولى إلى مجموعة « مختبر الابحاث البحرية » في الولايات المتحدة ، الذي ساعد ، بخلال السنوات العشر الأخيرة ، في قياس الاشعاع الكهربائي الصادر عن الكواكب ومنها تباعاً القمر ، المشتري ، الزهرة وأخيراً زحل وربما عطارد ، وقد التقطت على موجات اطوالها بالسنتيمتر .

في سنة 1955 اكتشف ب . ف . بورك Burke وك . ل . فرنكلين Franklin نمطاً من الاشعاع شديد الزخم على موجات دكامترية آتية من كوكب المشتري ؛ وهذه الاشعاعات المبثوثة الفريدة من نوعها ربما تتوافق مع شروط خاصة جداً يجب توفرها في الفضاء الخارجي لهذا الكوكب .

الشمس ـ في سنة 1946 بدأ آ . أ . كوفنغتون اول سلسلة من القياسات المنهجية على الاشعاع الشمسي على موجة طولها 10 سنتيمتر . ان هذه القياسات المتناهية الدقة ، والتي ما تزال مستمرة حتى اليوم ، قد استخدمت كأساس لجملة من الدراسات حول الاشعاع الهرتزي الصادر

عن السطح المشع من الشمس وعن التاج الأسفل . وكثرت هذه القياسات الآن في العديد من البلدان (في اليابان وفي هولندا بشكل خاص) وتوضحت بواسطة قياسات اشعاعية (في استراليا واليابان وفرنسا) فأتاحت التعرف على سطح الشمس وما فيه من تكثفات غازية حارة تعلو الصياخد (أي الاقسام البراقة من الشمس) والمناطق الناشطة مغناطيسيا .

اننا نعرف الآن ظاهرات اشعاعية كهربائية معقدة جداً رافقت الانفجارات الشمسية (الكروموسفرية) وتعزى بصورة اساسية ، من جهة الى الابحاث التي أجراها ، منذ 1952 ، ج ب . وايلد ومعاونه ، في المطياف الديناميكي في سدني ، ومن جهة أخرى ، منذ 1956 ، إلى الارصاد التي جرت في نانساي بواسطة الكاشف الكبير ، تحت ادارة آ . بواشو ومعاونيه .

لقد قدم فريق سدني اساس معارفنا حول سلوك المقذوفات النمطية (القفزات من النمطين II و III) التي ظهرت في بداية الانفجار . ونحن مدينون لفريق نانساي بالتعرف على مصادر البث ذات الزخم الكبير والمقرونة بخلق جزئيات كونية بقرب الشمس (قفزه من النمط IV) ، وكذلك الدراسة المعمقة لوقع هذا البث : عواصف متواصلة وعواصف راديو اشعاعية . وهناك طريقة مفيدة جداً في دراسة التاج البعيد تستخدم اختفاء أو احتجاب المصدر الاشعاعي المرافق لسديم كراب وراء فضاء الشمس ويعود الفضل فيها إلى مبادرة آ . هيويش Hewish وڤ . ڤ . ڤيتكفيتش Vitkevitch .

المستحدثات العملاقة ـ (سوبر نوڤا) ـ كان ج . ج . بولتون ومعاونوه أوائل في تحديد ومعرفة أحد المصادر الاشعاعية الاكثر بريقاً في السماء ، وذلك بفضل بقايا نجمة مستحدثة عملاقة هي سديم كراب الذي انفجر منذ حوالي 900 سنة .

ومنذ ذلك الوقت تم التعرف على دزينة من المستحدثات القديمة نوعاً ما بفضل الاعمال التي قام بها بشكل خاص م . ريل ور . مينكوسكي وو . باد ، من اجل النجمة كاسيوبي (وهي المصدر الاشعاعي الاكثر بريقاً في السماء وربما كانت الاكثر شباباً) ، وهمبوري ر . براون بالنسبة إلى تخريم البجع (dentelle du Cygne) الذي يبلغ عمره أكثر من 100 ألف سنة .

الخط 21 سنتيمتراً ـ ان دراسات اشعاع الهيدروجين بين المجرات في الخط 21 سنتيمتراً ، يمكن ان تعتبر من نواح عدة من المساهمات الرئيسية في علم الفلك الاشعاعي .

وهذه الدراسات يعود الفضل فيها بصورة أساسية إلى أعمال الهولنديين (ج . هـ . اورت وهـ . ك . كر Kerr ومعاونيه) بالنسبة إلى نصف الكرة الجنوبي ، وكذلك إلى بعض الدراسات الأخرى في الولايات المتحدة وانكلترا . وقد قدمت هذه الدراسات في الحال صورة متماسكة لبنية مجرتنا كما قدّمت بشكل خاص تحديداً كاملاً جداً لأذرعها الحلزونية ولغيوم الهيدروجين التي تؤلفها ؛ كما قدمت هذه الدراسات اكتشاف بنية معقّدة جدّاً في مناطق الوسط المجرّي حيث ترصد حركات توسّع مشهودة ، وقدّمت معطيات مهمة حول الكتلة الهيدروجينية لبعض المجرات المجاورة لمجرتنا .

ويتوقع من تشغيل التلسكوبات الكبرى الحديثة دفع جديد في هذا المجال الرصدي الأساسي .

الهالة المجرية ـ الى ج . ي بالدوين يعود الفضل في اكتشاف الهالة المجرية سنة 1955 . وبفضل دراسة مفصلة للارصاد استطاع ان يبين ان مجرتنا تسبح ضمن غيمة ممغنطة تبدو كروية ، وربما كانت مأهولة بجزئيات ذات طاقة عالية جداً . ومن جهة أخرى بين ب . ي . ميلز ان تركيزاً ملحوظاً لهذه الجزئيات الطاقوية موجود ايضاً في الاذرع الحلزونية . وبعد ذلك رصدت هالة من ذات الطبيعة في مجرات اخرى ، وخاصة في مجرة اندروميد .

المصادر الاشعاعية خارج المجرات ـ من منظور بعيد من المحتمل ان يبقى اكتشاف المصادر الاشعاعية خارج المجرات المساهمة الاساسية في علم الفلك الاشعاعي بحسب معرفتنا للكون ، وقد عكف العديد من العلماء على المسائل الصعبة جداً التي طرحها درس علم الفلك الاشعاعي .

حاول أتباع مدرسة كامبريدج برئاسة م . ريل ، مزودين بآلةٍ ضخمة ، ان يعدوا أكبر عدد ممكن من المصادر الاشعاعية من اجل درسها بشكل احصائي . وقدمت مدرسة سيدني وعلى رأسها ج . ل . بوزي وب . ي . ميلز ، انما بوسائل اقل طموحاً ولكنها اكثر دقة ، ان تقدم مساهمة اساسية في سبيل مماثل .

وقد بيّنت الدراسات الاولى بشكل مؤكد ان هذه المصادر الاشعاعية كانت ذات منشأ خارج عن المجرات ، وهي قليلة العدد نسبياً ، كما هي بعيدة جداً في معظمها . وبفضل ارصاد دقيقة جداً تناولت الموقع ، وقام بها ف . ج . سميث Smith ،ادت الدراسات بشكل خاص الى تحديد هوية المصدر الاشعاعي المسمى البجعة ، وفيه مجرة مزدوجة خصوصية جداً، وذلك سنة 1953 على يد باد ومنكوسكي . وهذا الاكتشاف مدين مثل اكتشاف « كاسيوبي » ، الى تلسكوب جبل بالومار ، وهو اكتشاف مهم لانه كشف عن أهمية المصادر الاشعاعية بشكل حقيقي .

وخلال هذه السنوات الأخيرة ، قامت مجموعات من جودرل بنك ومن معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، ومن نانساي بدراسة مسألة المصادر الاشعاعية ، وذلك وفقاً لأسلوب مختلف تماماً ، قائم على الحصول على معطيات حول بنية ، وحول قطر عدد محدود نسبياً من المصادر الاشعاعية .

ودلت هذه الدراسات على السمة المعقدة جداً لهذه الاشياء ، كما القت الشك على بعض النظريات المقترحة من اجل تفسيرها وخاصة النظرية التي تقول باعتبارها مجرات متصادمة .

وهناك تحديد آخر مهم أيضاً ينسب إلى ر . منكوسكي أيضاً ، سنة 1960 ، وهو تحديد ومعرفة المصدر الاشعاعي بوقّيه بواسطة كتلة من المجرات الكثيفة نوعاً ما ، والتي قدرت مسافتها بما يقارب خمسة مليارات من السنين الضوئية . وهذه الكتلة تمثل الهدف الاكثر بعداً الذي تعرف

عليه الفلكيون من قبل ، وهذا التحديد قد اكد بأن غالبية المصادر الاشعاعية ربما كانت بعيدة جداً وخارج متناول اعاظم التلسكوبات البصرية ، ولكنه بين ايضاً وبوضوح التعاون المتبادل الذي يمكن ان يتوقعه كل من الفريقين الفلكيون وعلماء الاشعاع من بعضهماالبعض .

وهكذا اضافة الى الاهتمام الخاص بهذه المجرات الاستثنائية ، يضاف الامل من جراء مساعدتها على توسيع حدود الكون المدرك ، فهي تمثل اداة ـ ربما كانت الاداة الوحيدة المتاحة ـ من اجل حل المسائل الفلكية الكبرى المرتبطة ببنية الكون وتطوره ونشأته .

القسم الرابع

علوم الحياة

ان تقدم وتطور علوم الحياة كان ضخماً في القسم الاول من القرن العشرين . ونريد ان نعذر تماماً عالم الغدد الصماء ان فكر أولاً في الاكتشافات الحاصلة في مجال الهرمونات . فالارالية الهرمونية والأوالية العصبية اللتان تتحكمان في الحياة العضوية الإنباتية ، قد تندمجان أحياناً : في الهيبوتالاموس (تحت المهاد) تستطيع خلية واحدة ، مزودة بكل الخصائص الشكلية التي للخلية العصبية ، ان تفرز أيضاً الهرمونات . هذه الهرمونات العصبية تؤثر في الانتيهيبوفيز المجاورة ، وتحفزها على اطلاق محفزاتها التي سوف تثير بدورها نشاط الغدد الصماء الاخرى . هذا التواصل تحت المهادي الخلوي الهرموني يسمح بفهم ان هذه الانطباعات الاطرافية التي تنقلها الاعصاب الى غدة الهيبوتالاموس ، يمكن ان تتجاوب في اعماق الجسم : وهكذا تستكمل الانعكاسات العصبية الصمائية أو الغددية التي يمثل بعضها أواليات مدهشة . ألا يمثل الهرمون وهو مادة كيميائية ، الوسيلة البدائية المستبدلة بصورة تدريجية بالنورون اي الخلية العصبية التي تبدو احياناً وكأنها تتذكره ؟

ان المثيرات النخامية هي خمائر ، أو سلاسل قصيرة نوعاً ما من الحوامض الامينية التي يصعب عزلها ، والتي أصبحت أكثر فأكثر انكشافاً امام المعرفة . والعناصر التي تطلق الهيبوتالاميك في هذه المثيرات هي بدون شك خمائر أيضاً . وهي اليوم مدروسة بعناية . اما الهرمونات الأخرى المكتشفة ، فقد تمت معرفتها تماماً بفضل العمل الباهر الذي قام به الكيميائيون . فهؤلاء لم يعودوا يكتفون بتقليد الجسم في تركيباتهم بل يحاولون أن يتجاوزوا الجسم فيخلقوا في بوتقاتهم مستحضرات اصطناعية لها أحياناً بعض الامتيازات على الهرمونات الطبيعية . ولكن إرادة تصحيح الطبيعة لا تخلو من مخاطر ، ونعرف أمثلة محزنة عن هذه المحاولات .

ان الدراسة الفيزيولوجية لهرمون ما يمكن ان تسهل الى حدٍ بعيد عندما تعالج هذه الدراسة بواسطة الزراعة في المختبر . وقد أمكن التوصل إلى تعييش خلايا خارج الجسم طيلة وقت طويل جداً .

ويمكن ان نتصور المعلومات الثمينة المتجمعة بخلال مثل هذه البحوث . وعلى كل يتوجب

دائماً « التفكير خلوياً » كما كان يقال ايام كلود برنـار Bernard ، فالخليـة كانت تمثـل يومئـذٍ وحدة المادة الحية . وفي أيامنا ، تعتبر الخلية كالذرات التي تكونها ، موضوع التشريحات الدقيقة . وقد مكن الميكـروسكوب الالكتـروني من تعميق حدود الشكـلانية ، كمـا امكن تصـويـر الفيـروسـات والبـاكتيريـوفـاج (ملتهم الجـراثيم) . وقـد سـاهم الفيـزيـائيـون الكيميـائيـون بـأنفـسهم في هـذه التشريحات . وهكذا فتح مجال البيولوجيا الخلوية ، ومجال الفيزياء الكيميـائية الخلويـة الكبرى . فالخلايا الكبرى من البروتينات اللولبية اصبحت مركز مسألة الحياة ، وها نحن نفكك اوالية تركيبهـا داخل الخلية الحميم . وبدأ العلماء يترقبون التفاعليات الفيزيائية الكيميائيـة للوراثة وذلـك بتحليل المبادلات الاكسيدية الريبية النواتية المنزوعة الاوكسجين والريبية النواتية . وقد حاول العلماء اجراء التـركيب البيولـوجي للبروتينيـات في المختبر بحضـور اعضـاء خلوية خـاصـة اسمهـا الـريبـوزوم ribosomes (جـسيمات ريبية) تعمل بصورة طبيعية داخل الستيوبلاسما ، وفقاً لخـطط تمليها بعض العوامل المنبثقة عن الكروموزومات وهذه الكروموزومات تتحكم بصورة مطلقة ـ وقد تبين هـذا منذ عدة عقود . واصبح نسيجها وتأثيرها الضخم معروفاً أكثر فأكثر . ان المفارقات التي تصيبهـا احيانـاً اثناء تنقلها او هجـراتها تلقي اضـواءً قوية حول أسبـاب الامراض التي تعتبـر حتى اليوم مستعصيـة وذلـك بحكـم ان سببها يمكن في اربـاك المخزون الكـروموزومي . ولكن هـذا المخزون يمكن ان يتضرر بفعل التجريب ومن يعلم ؟

ومن بين المسـائل التي تقـع في ذرى البيولـوجيا نشـير أيضاً إلى مـوضوع « التـطور » ، الكثير التعقيد ، والى « المظاهر المتنوعة جداً » ومـوضوع التـنظيم الذاتي او التكييف الـذاتي الذي يلعب دوراً في البويضة والذي يؤمن فيما بعد « حكمة الجسد » . ان ظاهرات التناسل تصنف أيضاً ضمن هذه الفئة المميزة ، والتخصيب ما يزال مغطى بالسر والغمـوض رغم النجاحـات الباهـرة في مجال التوالد العذري التجريبي .

وهناك مسائل أخرى مهمة جداً يعالجها عصرنا بجـدوى . نذكـر بعض عناوينهـا : ظاهـرات المناعة ، والتطعيم ، والمضادات الحيوية ، والمفاهيم الجديدة في الزوولـوجيا أو علم الحيـوان ، وازدهار علم الاحائة والتقدم في الفيزيولوجيا النباتية (والاوكسينات أو الهرمونات النبـاتية والتـركيب الضوئي) ، وتفاعلبات التغذية ، الخ .

ان هـذه المواضيـع المختلفـة معـروضـة ضمن الفصـول المتتـاليـة من هـذا القسم بفضـل المتخصصين المختلفين . ونلاحظ ان السير إلى الامام مستمر بسـرعة في علوم الحيـاة وفي العلوم الاخرى . ويسيطر فيها التجريب الكمي ـ وهذا التجريب ليس وليـد الامس ، ونذكر هنا لافوازييه . « ان نقيس ما يمكن قياسه وان نجعل قابلاً للقياس ما لا يمكن قياسه » هذه النصيحة اوردها غاليلي وهي تحفـز علماء البيـولوجيـا المعاصـرين في حين ان مسؤولياتهم « كمكتـشفين » لم تـوقف عن التزايد : في مواجهة الطاقة الذرية تقـوم الكيميـاء الـدماغيـة والتأثيـر الضخم للخلايـا الصغيرة على سلوك الافراد .

الفصل الأول

الحياة الأوّلية

I ـ الخلية

منذ اقرار العقيدة الخلوية في القرن التاسع عشر ، يفكر كل بيولوجي ويعبر عن فكرة « خلويا » . ان القرن العشرين قد سار على الخط المرسوم سابقاً . ان زراعة الانسجة (ر . ج . هاريسون ، Harrison 1907 ؛ آ . كارل Carrel 1910-1912) أثبتت ان الخلية المستخرجة والموضوعة في المختبر ضمن ظروف ملائمة تتغذى وتنقسم وتتكاثر وتتنقل .

السبل الجديدة للبحث ـ لقد راجع القرن العشرون ووسع المعرفة بالبنية الخلوية ، بفضل تحسين التقنيات القديمة وبفضل ادخال تقنيات جديدة : مثل الاعمال حول حبيبات الهيولي ، « الكوندريوم » Chondriome (ف . مفس Meves 1900 - 1908) ، وجهاز غولجي (1898) Golgi ، والديكتيوزوم (بيرونسيتو Perroncito 1909) الارغاستوبلاسم (بووين Bouin ، غارنييه Garnier 1899 -1900) ، السينيتيد (شاتون Chatton 1924) .

واصاب التقدم الادوات التي مكنت من الحصول على صورة امينة للخلية كبيرة جداً ؛ وهناك آخرون تناولوا الخلية بالذات فحسنوا تثبتها وتلوينها محاولين فحصها في حالة الحياة (راجع أيضاً الفقرة I ، الفصل II ، القسم الرابع) .

ان استخدام الميكروسكوب ثنائي العينية قد تعمم ؛ وقد أتاح جهاز ضبط الاضاءة ، في كل وضع خاصة منذ خمس وعشرين سنة ، تمييز مختلف بنيات الخلية الحية بدون الاستعانة بالتلوين . وادخال الميكروسكوب الالكتروني في البيولوجيا نقل التكبير من 2500 قطر إلى 50 الف قطر أو 70 الف قطر . كما ادى بعد سنة 1950 الى تحقيق نتائج مهمة . نذكر أيضاً استخدام الضوء فوق البنفسجي ، والضوء المكثف ، والفلوريسان ثم « الهيستو سبكتروغرافيا » أو تصوير اطياف الانسجة . ومع تحسين وسائل التثبيت والتلوين ، ومع محاولة الحصول على شرائح دائماً أرق وأكثر انتظاماً ، جرى البحث اكثر فاكثر في تفحص الخلية الحية . واستخدمت ملونات (حيوية) قادرة على التسرب الى داخل الخلية غير المثبتة (رينوت Renaut ودوبريل Dubreuil 1906 ؛ بارات Parat 1924 الخ) . ان دراسة الخلية الحية تقتضي استعدادات دقيقة . ان عناصر الانسجة الحية قلما تستجيب ، لذا فإنّ زراعة الأنسجة في المختبر كانت مساعدة جداً . واستخدام ضبط

الإضاءة في كل وضع في هذه الحالة أتاح تفحصاً مفيداً وكذلك التصوير السينمائي التصغيري (ميشال Michel ,1943) ـ تقنية سبق وإستعملت (جان كومندون Comandon ,1906 ؛ ج . جولي Jolly ,1913 ، الخ) بواسطة الميكروسكوب العادي . ان الزراعة في المختبر لكامل النطفة (جولي) قد أتاحت رؤية السوميت (Somites) [كل من كتلتين داخل الخلية ، مكونتين من أنسجة لحمية ومنهما تشتق الانسجة الطرية والهيكل العظمي] والجهاز الوعائي ثم انطلاقة تسجيل ضربات القلب تحت المجهر . واليوم يمكن ان نتتبع المراحل المختلفة في الانقسام الخلوي (ج . فردريك وم . شفرمونت Chévremont ,1951) ويمكن أيضاً دراسة « الفاغوسيت » [خلية تبتلع البكتيريا] اثناء عملها ، الخ . ويعرف البيولوجي أيضاً كيف يمارس على الخلية الحية بعض التدخلات الجراحية : وهذا ما يسمى بالتشريح المصغر (شامبرس ، 1921) . ان القلاب الميكروسكوبي يتيح ، تحت الميكروسكوب ، نقل الابر الميكروسكوبية (كومندون وب . دي فونبرون de Fonbrune ، سنة 1939) ، والانابيب الميكروسكوبية الصغيرة التي بفضلها يتم استخراج النواة كاملة او استخراج احد كروموزوماتها ، أو اجزاء زرق داخل الخلية .

ان الميكروسكوب الالكتروني قد اتاح تحليل مختلف اجزاء الخلية المثبتة مما يكشف عن تنظيم معقد في تشكيلاتها التي تبدو تحت المجهر الابصاري متناسقة . فضلاً عن ذلك تتيح ميكروتومات خاصة الحصول على مقاطع من الانسجة ذات سماكة رقيقة جداً (100 إلى 200 Å) .

النواة والسيتوبلاسم ـ كان من المقبول لمدة طويلة ان الكروموزومات تزول بين ميتوزين وذلك عندما تذوب في العصارة النواتية . نعرف اليوم ان الكروموزومات لا تفقد أبداً ذاتيتها (غويينوه Guyénot 1951) . وبعد ان تم التعرف على هويتها عند مستوى نوى بعض الخلايا في الفسحة التي تفصل بين الميتوزات ، امكن استخراجها (ميرسكي وفوليستر ، 1943) . وقد أثبت الميكروسكوب الالكتروني هذه الاستمرارية (ب ـ ب . غراسي ومعاونوه) . هذه الديمومة في الكروموزوم ضمن الحياة الخلوية ، ثم تشققه طولياً ، ثم انقسامه متساوياً بين الخليتين الوليدتين تتوافق تماماً مع نظرية الوراثة الكروموزومية (راجع الفصل IV من هذا القسم) .

ان التقدم الحديث قد أتاح أيضاً التعرف على بنية النكليول أو نواة النواة .

ان الميكروسكوب الذي يظهر فرق المرحلة قد كشف ذنباً هو النكليولونيم (استابل Estable وسوتيلو Sotelo ,1950) وقد عثر عليه في الميكروسكوب الالكتروني (بوريسكو Borysko وبانغ Bang ,1947 ؛ برنهارد ومعاونوه ، 1952) . وهذا العضي لا يظهر بشكل مجرد مادة احتياطية بسيطة أو بشكل رمية ؛ انه يدخل في تركيب البروتينات الخلوية ، مما يفسر محتواه المرتفع من الحامض الريبي النواتي . وهو مركز رئيسي لتركيب الانزيمات المشاركة والنكليوتيديك التي تتدخل في الاكسدة الخلوية وتساهم في تكون الكروموزوم .

ان السيتوبلاسما [حشوة الخلية] تتكون من مادة هلامية شفافة فيها تسبح المحصورات .

ان بعض هذه المحصورات ، وهو من نتاج الايض الخلوي ، يمثل البروتوبلاسما (الوزقة) الجامدة ، بشكل فجوة ، أو حبيبات الافراز ، أو ملوِّن الخ . وبعضها الآخر ، بعد درسها جيداً

بالميكرومكوب الالكتروني ، يلعب دوراً في الكيميائية الخلوية : الكوندريوم (تحببات الهيولي) ، جهاز غولجي ، ارغاستوبلايسم ، ميكروزوم . ان الميتوكوندريات [هنية الجبلة] والكوندريوكونت [حبيبات] التي تشكل الكوندريوم [الغضروفين] هي تشكلات بيضاوية أو عضوية يحيط بها غشاء جوانبي مزدوج في اغلب الاحيان ومقطع بحواجز قد تكون مضاعفة الغلاف (جوستراند ، 1953) . وقد امكن عزل ميتوكوندريات بواسطة الدوران النبذي السريع جداً (آ . كلود ، 1941 - 1943) ثم دراسة تكوينها الكيميائي : دهنيات ، بروتيدات (هيوليات) دياستاز [خمائر] ، فيتامينات ، حامض A T P (آدنوسين - تري - فوسفوري) . يلعب الكوندريوم دوراً اساسياً في التفاعلات الكيميائية الحاصلة في الخلية ، خاصة عند التنفس ؛ ولكن لم يعد من المعتقد اليوم ان الكوندريوكونت والميتوكوندري تستطيع ان تتحول إلى حبيبات ذات افراز . ان حبيبات الافراز تتشكل عند مستوى جهاز غولجي والارغاستوبلاسم . هذان العضوان المصغران هما ضمائم من الشرائح ذات الحاجز المزدوج ، المتراكمة بشكل صفوف متوازية ، وتحتل مساحة ضخمة . وفي غشاء الارغاستوبلاسم توجد حبيبات تسمى حبوب پالاد Palade (پورتر وپالاد منذ 1950) . بين مختلف هذه التشكلات ، يحتوي الهيالوپلاسم في حالة الذوب ، حبيبات دقيقة للغاية اسمها الميكروسوم (آ . كلود ، 1943) . وبالنسبة لمنشئها ، نقول ان هذه الميكروسوم هي دعامة حامض ريبي نواتي ، ودورها الرئيسي مرتبط بتركيب البروتين (زامكنيك ,1960 Zamecnik) .

ان العضويات الخلوية ، التي اكتشفت ، بصورة خاصة ، في أواخر القرن التاسع عشر ، قد درست من ثلاثة أوجه : البنية والتركيب والوظيفة . ان التوجه الخلوي الكيميائي [كيمياء الخلية] قد انطلق منذ بداية القرن العشرين .

ان البيولوجي المعاصر يترصد التفصيلات الدقيقة في الخلية ، فيراها تعيش ، ويجرب فيها ، ويحدد مكوناتها الكيميائية . وهكذا تظهر الخلية وكأنها جمهرة من الجزئيات المصورة في حالة تنافس ايضي ، كما الجسم المعقد ، الذي يعرض الاختلافات بين وحداته المكونة ، كما يعرض التكاملات الوظيفية فيه .

وتؤثر النواة في البلاسما الخلوية (سيتوبلاسما) ، وهي ضرورية للحفاظ على الميكروسوم . وهي مستودع الخصائص الوراثية ، ومبدعة التناسل الذاتي وتوزيع المادة الحية ، ولذا فهي لا بد منها للحياة الخلوية . وبالمقابل فهي ليست مركز التنفس ، كما كان المعتقد في اواخر القرن التاسع عشر ، وكل شيء يحصل كما لو كانت الميتوكوندريات خارج نطاق سيطرتها . واخيراً لا تكون النواة ناشطة ايضاً الا في الخلية الساكنة ؛ ان الخلية عند الانقسام ، تشبه ، بهذا الشأن ، سيتوبلاسما فاقدة النواة . ورغم المبادلات الكيميائية المستمرة التي تحدث داخل الخلايا ، توجد توازنات وثوابت .

وهكذا توجد رابطة ثابتة بين حجم النواة وحجم السيتوبلاسم في الخلية (العلاقة النواتية البلاسمية التي قال بها ر . هرتويغ Hertwig ,1903 : $\frac{ن}{ب}$ = ثابتة ، باعتبار ن = نواة وب =

بلاسما) . فضلاً عن ذلك نلاحظ وجود توازن ايوني [كهربائي] : فالـ (pH) أي الكامن الهيدروجيني يبقى ذا قيمة ثابتة بفضل المواد الحفظية .

ونلاحظ ايضاً وجود معدل دهني نسيجي (ليبوسيتيك) (ماير وشافر ، 1908) ؛ إنّ الرابط بين الكوليسترول والحامض الدهني هو الذي ينظم كبح الماء المرتبط بالمادة الحية ، وهذا الكبح هو ثابتة خلوية لكل نسيج معين .

التنظيم الفيزيائي الكيميائي ، والكيميائي الخالص للمادة الحية ـ ان الفيزياء الكيميائية هي علم اسس في القرن التاسع عشر وقد طبق مباشرة في نطاق المادة الحية . وثبت المفهوم القائل بان البروتوبلاسما هي مادة غرائية وذلك في بداية القرن العشرين (بوتازي) ، مع هذا التوضيح الجديد بانها جامد سلبي الكهرباء (آ . ماير) . ان الحالة المزدوجة الفعل (امفوليت) في البروتينات ووجود نقط توازن كهربائية ذاتية ، وتطبيق مبادىء الانتقال الكهربائي ، كلها مشتقة من هذا المفهوم .

وتشكل اكتشافات الكيمياء الاحيائية احد المكاسب الرئيسية في القرن العشرين ؛ وقد انعكست في كل المجالات التي تدرس الحياة . وهذه الاخيرة تقتضي « ظاهرات صغيرة » لم تعد مواضيع تندر ، بعد ان توضحت معادلتها وصيغتها . ان صنع المستحضرات التركيبية العضوية قد نشّط جميع المظاهر النظرية والعملية في البيولوجيا . وابرز المكتسبات الحالية هي التالية : متابعة الاستقصاءات التي كانت معروفة في القرن التاسع عشر حول مكونات المادة الحية ، وصيغتها ، ثم صنعها في المختبر ، واحجام وتنظيم خليتها (اطياف انكسار اشعة X)؛ اكتشاف الاجسام المزودة بنشاط عالٍ مثل : الفيتامينات ، والانزيمات والهرمونات ؛ تحليل عمليات الايض التي بدت معقدة جداً في مراحلها الوسيطة ، وفي تشابكها وتعقيداتها بين التدمير وبين البناء في مختلف مراتب المادة .

ان التقدم التقني في الكيمياء العضوية قد لعب دوراً وازناً في تحليل وفي تركيب المكونات ، وفي معرفة تقلباتها داخل الجسم . فضلاً عن التوازن الكهربائي و « تعداد » الذرات باستخدام النظائر المشعة ، قدم التصوير التلويني خدمات جلى [1] وذلك بتمكينه من فصل المواد المعقدة ، بفضل الامتصاص المميز لمذوباتها . فضلاً عن استعمالها اليومي في مجال الكيمياء الاحيائية العيادية ، ادت هذه الطرق الى اكتشافات مهمة مثل : عزل وكيل الحوامض الامينية ، وبنية الانسولين ، الخ .

وقد استمر القرن العشرين في بدايته في جدولة المكونات الكيميائية للمادة الحية . وهذه المكونات لا غوامض فيها ، كما ان « الخلية الحية » ، المبحوث عنها كثيراً قبل القرن الحالي ليس لها وجود . فمنذ سنة 1862 ، رد آ . واغنر مادة الكائنات الحية الى ثلاث فئات من البنيات العضوية البسيطة : الغلوسيدات (أو هيدرات الكربون) ، الليبيدات (او الشحوم) ، البروتيدات (اوالمواد الازوتية) . وقبل سنة 1900 استمر الجهد المخصص لكيمياء مكونات المادة الحية :

(1) راجع بهذا الشأن دراسة آ . إيهد Ihde ، الفقرة IV ، الفصل XI ، القسم الثاني .

بروتيد ، غلوسيد ، ليبيد ، كاروتينوييد ، واملاح معدنية ، وماء . والعديد من المركبات الكيميائية ، قد استخرجت وحللت بل وايضاً صنعت تركيبياً . واهمية بعض المواد اعطت حضوراً خاصاً لدراستها مثل : الكوليسترول ، والهرمونات الجنسية وفوق الكلوية ، والفيتامين دال ، وكلها ترد الى مجموعة الستيرول (مادة كحولية) ؛ اما الكاروتينوييد (الجزريات) ، والكلوروفيل (اليخضور) والهيموغلوبين فتدخل في مجموعة البروتيدات الصبغية ؛ اما النكليوبروتيين والحوامض النكلية فمزودة بنشاطات حيوية ملحوظة .

اهم مكونات المادة الحية ـ لقد تم تحقيق تقدم هائل في القرن العشرين فيما خص التعرف على ماهية المركبات العضوية التي تشكل المادة الحية وذلك من خلال وضع صيغ لها ومن خلال تركيبها .

ففيما خص الغلوسيد قام آ . فيشر Fischer وهو معاصر للقرنين التاسع عشر والعشرين ، بتركيب الغلوكوز ، والمانيت والفروكتوز (سكر الاثمار) . وتم تركيب الساكاروز سنة 1928 على يد بيكتيه Pictet وفوجل Vogel ؛ وركب كيسلن Kissling الغليكوجين انطلاقاً من (استر) كوري [الأسترهو حامض قلوي] . ان البنية الدورية للسكاكر كانت موضوع اعمال كلاسيكية قام بها هاوورث Haworth سنة 1924 . وتكوين مزائج السكر اي السكر مع غيره من المواد ، وخاصة تكوين العنصر الناشط في الديجيتال [مادة سامة جداً] ، قد درس ايضاً . ان المدلولات المستعملة (اوز ، اوزيد Oses, Osides) يعود تاريخها الى اواخر الربع الاول من هذا القرن . والى الحوامض الاورينية [البولية] ينتمي الفيتامين C (زنت Szent ـ جيورجي Giorgyi) . واخيراً ان متعدّدات السكريد المخاطية تؤلف المادة الاساسية في الانسجة الملحمية : وحامضها الهيالورينيك يتضمن الهيالورنيد ، وهو « عنصر عامل على الانتشار » يُسيل الانسجة الملحمية المالئة والحامية .

وجرت اول محاولة توحيدية للمركبات ، المجموعة اليوم تحت اسم « ليبيد » من قبل اوفرتون وميير Meyer (1900) . وكان الكولسترول معروفاً منذ 1775 (كونرادي Conradi) ؛ ولكن تركيبه لم يتحدد الا في سنة 1932 (ويندوس Windaus وويلاند Wieland) ؛ وعرف ويندوس ان الارغوسترين هو الفيتامين الافضل ضد الكساح (D_2) . ومعرفتنا حول الهرمونات الكحولية (ستروليك) (الخصيوي ، المبيضي وفوق الكليوي) مرتبطة بهذه المجموعة من الاستقصاءات . ان الليبيدات (الدهون) المركبة التي اليها ينتمي الليسيتين ، قد حللت : الغليسيرو ـ فوسفو ـ آمينو ـ ليبيد من قبل ديليزن وفورنو ، والسفينغو ـ آمينو ـ ليبيد من قبل ليفين (Levene) .

وفيما يتعلق بالبروتيد ، فقد جهد القرن التاسع عشر ، من براكونو Braconnot الى أ . فيشر ، ان يحدد ، بالتحليل المائي ، الامينو حامض الذي يؤلف البروتيد . وكان اول تركيب « ليبتيد متعدد » ، عن طريق جمع الحوامض الامينية ، والسكر البسيط والمركب ، قد جرى على يد كورتيوس سنة 1883 ؛ وفتحت نجاحات فيشر وفورنو (1901) ، ومايار ، القرن العشرين . في سنة 1901 أثبت ف . هـ . هوبكنس وجود التريبتوفان ، وفي سنة 1906 ، لاحظ ويلكوك وهوبكنس

أنّ بعض الحوامض الأمينية لازمة ، ويجب أن تكون موجودة في الغذاء ، وفي سنة 1921 اكتشف هويكنس الغلوتاثيون في خميرة البيرة .

ان كيمياء الكروموبروتيد البورفيريك ، المتميز بنواته « بيرول » قد فك رموزها فيشر ، وكان تتويجها بانتاج تركيب للپروتو ـ پورفيرين ، واندماجه بالحديد تحت اسم الهيمين ، مع قيام هيل وهولدن بتركيب الهوموغلوبين . ان السيتوكروم آ ، ب ، ث قد اكتشفه كيلين سنة 1925 . وادت الاعمال حول الكلوروفيل الى عزله (ويلستاتر وهـ . فيشر) ، ثم الى تركيبه من قبل ر . روبنسون (1926) ؛ في حين ان اعمال ويلستاتر تناولت الانتسيان (1913) . اما الكاروتيوييد فقد امكن عزله بواسطة الكروماتوغرافيا (التحليل الكروماتوغرافي) ؛ وقد اكتشفت ايضاً صيغة الليكوپين ، من الفيتامين آ ومن الفيتامين اي (E) ، في حين تمت بلورة الغزانتوفيل ، والكروستين كما تم تركيب السكوالين .

ومعرفتنا حول النوكليوپروتيين تعود الى سنة 1868 : فقد اقتطع ف . ميشر نوى من خلايا الصديد وعزل « النوكليين » ؛ ثم فكك الپروتيين من الحامض العضوي (1874) . وتابع آ . كوسل المهمة (1882-1897) ؛ وعرف بان المكونات الاولية للحامض النوكلييك هي نوكليوتيد . واذا ساد الاعتقاد ، بعد ليفن Levene ، ان الحوامض النوكلييك هي « تترا ـ نوكليو ـ تيد » ، فقد عرفت طبيعتها البولي ـ نوكليو تيديك . وعندما يكون السكر ريبياً ، فاننا نتعامل مع الحامض الريبي النواتي (A R N) [A = اسيد] ؛ اما إذا كان السكر ديزوكسي ـ ريبياً ، فإننا نكون تجاه حامض ديزوكسي ريبي نواتي (A D N) . والثاني لا يوجد إلا داخل النواة الخلوية ؛ وهو مكون الكروماتين الوراثي (أوكروماتين) المتوطن في الكروموسوم عند مستوى الجينة ؛ ويبدو في بيئته الطبيعية (in situ) بفضل مفعوله المحلل (تفاعل فولجن ، 1924) . ويعتبر مسؤولاً اساسياً ، ليس فقط عن الاستمرارية وعن نقل الحياة بل يعتبر ايضاً مسؤولاً عن الحفاظ عليها على المستوى الخلوي ، فبدلاً من العبارة الشائعة لدى علماء الخلايا في القرن التاسع عشر ، وهي : « لا توجد خلية بدون نواة» حلت العقيدة الاحيائية الكيميائية وهي لا توجد خلية بدون A D N . ان A R N هو بآن واحد حاضرٌ في النواة وفي السيتوبلاسما حيث يظهر من خلال اثباته للاصباغ القاعدية (بازوفيلي) ، وامتصاص الاشعة فوق البنفسجية (كاسبرسون ، 1949) . وكلاهما ضعيف من جراء الانزيم الخاص فيهما (ديزوكسي ـ ريبو ـ نوكلياز وريبو ـ نوكلياز)[1] .

وإلى مجموعة النوكليوتيد ينتمي الادينو ـ سيتري ـ فوسفات (A T P) الذي عزل سنة 1928 ، بفضل لوهمان انطلاقاً من نسيج عضلي ، واليها أيضاً ينتمي الفلاڤين ـ مونو ـ نوكليوتيد (F M N) ، والدي ـ فوسفوريدين ـ نوكليوتيد D P N ، كوانزيم I ، كوزيماس) ، والكوانزيم A ، والسيانو كوبالامين (ڤيتامين B_{12} ب 12) : وكلها مهمة جداً في عمليات الايض .

(1) لقد حقق أوشوا Ochoa وكورنبرغ Kornberg التركيب البيولوجي للحوامض نوكلييك (1959) . ويبدو حامض ريبو نوكلييك على الأقل تحت أشكال ثلاثة مختلفة بفعل أحجام الجزيئات وتركيباتها ،وأيضها ووظائفها(جاكوب Jacob ومونو Monod ، 1961) .

ونجد ايضا في المادة الحية الماء بغزارة وبأشكال متنوعة : مرتبط ، وحر ومقحم . ان الاملاح المعدنية ليست مما يهمل ، حتى بكميات صغيرة ؛ واهمية العناصر الضرورية من الفيتامينات قد توضحت على يد ج . برتران سنة 1903 .

ولا يكتفى باستخراج المركبات الكيميائية ثم تنظيم جردة لها . بل يجري العمل على اكتشافها في مكانها من الخلية بفضل التفاعلات في جذورها المميزة . وهذا هو موضوع تاريخ الكيمياء الذي يسمى « توبو كيمياء » .

هندسة المركبات العضوية ـ ان المادة الحية تتميز بتجمع الاجسام الكيميائية الاولية الموجودة فيها . ويجب النظر الى وجود المماكب أو الايزومير [متجازىء مؤلف من ذرات متماثلة النوع والعدد ولكنها مختلفة الخصائص] ؛ وترتكز الحياة على « عدم التناظر البصري » . ومن الناحية التعليمية من الاسهل النظر الى :

1 ـ التركيبات البسيطة أو الهندسات البسيطة : وهي اكثرية (حوامض اليفاتيك وخاصة الحوامض الشحومية ؛ السكاكر ؛ الحوامض الامينية) ، أو ذات الاستعمال الشائع (مثل ستيرول ؛ الأجسام المختلفة التركيب الدوري : مثل البيرول والبيريميدين ، والبورين ، الخ . والكاروتينويد السفلى) .

2 ـ اشكال تجمع عن طريق الاتصال : مثل السكريات (ديهولوسيد ؛ نوكليوسيد) ؛ الاستر (الدهنيات من نمط غليسيريسد ؛ الاستر الفوسفوري ؛ CoA ؛ نوكليوتيد ؛ الدهنيات المعقدة) ؛ البتيدي (متعدّدات البتيد) ؛

3 ـ جزيئات كبيرة مثل : بوليسكاريد (السلولوز ، النشاء ، الغليكوجين) ثمّ متعدّدات السكّريد المتغايرة (متعدّدات السكّريد المخاطية ، هيبارين ، حامض كوندرويتين كبريتي) ؛ نوكليو ـ بروتين ؛ بروتينات معدنية (هيموغلوبين ، كلورو يل) ؛ هولوبروتيين .

وهناك فئتان من الأجسام من شأنهما ان تشكلا جزيئات كبيرة جداً :

1 ـ الغلوسيد ، وهي تعطي الطاقة الخلوية . ومن الناحية الكيميائية ، يبدو نسيجها بسيطاً لانه يكرر عن طريق التجميع والاتحاد نفس الدافع الاولي .

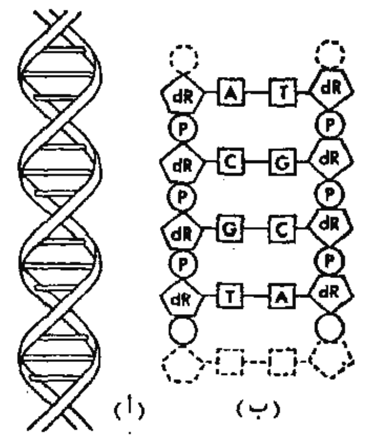
2 ـ ان البروتيد ومنها المكونات الخاصة التي تعتبر حوامض امينية متجمعة بشكل سلاسل طويلة بموجب وشائج ببتيدية . والجزيئات الضخمة تنشأ بفعل تجمع حوالي ثلاثين حامضاً أمينياً يتيح تركيبها الحصول نظرياً على عدد ضخم جداً من الأجسام المختلفة (132 وبعده 30 صفراً) .

ان الشبكات والخيوط البروتيدية والاغشية هي العناصر الاساسية في تركيب المادة الحية وهناك اكتشاف رئيسي في البيولوجيا الجديدة هو الاعتقاد بأن الحياة منظمة حتى على الصعيد الخلوي . ان البروتوبلاسما مؤلفة من خلايا كبيرة ، ولكنها ليست حكراً على هذا النوع من الخلايا .

وكلما كبرت الخلية ، نلاحظ تغييراً موازياً في خصائصها الفيزيائية . فاذا تجاوزت الكتلة 10 الاف وحدة فانها تنتمي الى محلول غروي . والوزن الخلوي لهذه الخلايا الكبرى قد يتجاوز عدة

ملايين . وملاحظتها تتجاوز في كثير من الاحيان القدرة الفاصلة التي يتمتع بها الميكروسكوب الالكتروني ، رغم ان هذا الجهاز يتيح تتبع أيض الفريتين أو الحديد عند مستوى النخاع العظمي المكوِّن للدم . وهذه الخلايا تدخل في اطار البوليمرات العليا ، المعروفة منذ ستودنجر Staudinger (1920) . ان الانكسار المضاعف في اجهزتها الليفية ، وبيان (دياغرام) طيفها الكاسر للاشعة السينية يتيحان اعادة تكوينها . وقد تميزت البروتينات بتليفات (شبكة هيكل خلية البروتوبلاسم) وبكرويات (هوموغلوبين) ؛ والتحول الداخلي ممكن كما هو الحال في الأكتين الذي يمثل السند الخلوي لتقلص العضل .

وما يزال شكل بعض من هذه الخلايا الكبرى موضوع جدل ؛ ففيما خص البروتينات الليفية ، استبدلت البنية الخيطية التي دعمتها الانسة رنش Wrinch بالتصور الحلزوني الذي قال به پولنغ (كابل ذو 7 شعب) . وقد عزا كلٌ من پولنغ Pauling وكوراي Corey (1953) وج . د . واطسون وف . ك . كريك (1953) ، ايضاً ، بنية حلزونية للحوامض النوكلييك (النواتية) : فقد تصوروها مؤلفة من سلسلتين لولبيتين (حيث يتناوب السكر والحامض الفوسفوريك) مرتبطتين بجذوع (حيث تواجد الركائز الازوتية) (صورة رقم 31) .



صورة 31 ـ رسمة الجزيء A D N (كما رسمها واطسون وكريك) .

أ ـ رسمة إجمالية ـ تتكون الخلية من سلسلتين موازيتين من نيكلبوتيدات مبرومة بشكل لولبي ومتصلة بركائزها الازوتية .

ب ـ تفصيل السلاسل المنشورة . ان كل نوكليوتيد يتألف من ركيزة ازوتية (آدنين : A ؛ غوانين : G ؛ ستوزين C ؛ او تيمين : T) موصولة بسكر (ديز ـ اوكسي ـ ريبوز : d. R) ، هو بذاته مثبت الى مجموعة فوسفورية (P) موصولة بدورها بـ « ديزوكسي ريبوز » النوكليوتيد التالي . ان بنية الـ A. R. N متشابهة ، الا ان السكر فيها هو الريبوز والثيمين فيها مستبدل بالاوراسيل .

هذه الفرضية الاخيرة ، التي استحقت جائزة نوبل للطب سنة 1962 لواطسون ولكريك ـ وكذلك لـ م . ك . ف . ولكنس Wilkins الذي لعبت بحوثه في التحليل الطيفي عن طريق

انكسار اشعة X دوراً مهماً ـ قد تأكدت بعدة اعمال لاحقة . وقد ساهم كريك بشكل خاص ، وبنشاط زائد في « حل رموز » القانون الكيميائي الذي بواسطته يلعب الـ A D N دوراً اساسياً في أواليات الحياة والوراثة .

ومن الجدير بالذكر ان ماشيبوف Machebœuf قد سبق ولفت الانتباه الى الاتحادات الدهنية ـ البروتيدية (كو ـ انزيم) . ان مفهوم الوصل يتحكم بكل هذه المسائل ؛ وهذا التصور لتركيب المادة الحية يُدخلنا في صميم تنظيمها ، وبصورة افضل من وجهة النظر الغروية التي أصبحت اليوم عتيقة . تنظيم خلايا كبيرة ، بنيات ضخمة مرئية بالميكروسكوب الالكتروني ، بنيات ميكروسكوبية تمثل « سلالم » ذات ضخامة متزايلة بصورة تدريجية ، تربط هكذا الكيمياء بعلم التشكل (مورفولوجيا) .

ان بعض المواد مزودة بخصوصية ذاتية قد تكون ميزة للنوع ، أو لمجموعة حيوانية (زوولوجية) . ان خلايا حامض ـ ديزوكسيريبو ـ نوكليبك [A D N] تختلف ، خاصة ، من حيث الترتيب الذي تُصَفُّ فيه الركائز الازوتية ، ذات السلاسل التي تستطيع بالتالية ان تحقق عدداً مرتفعاً الى اقصى حدٍ من التركيبات . ان اوالية الوراثة قد ترسم وتختصر بنقل الـ (A D N) الخاص بالآباء ، الى الاولاد .

في سنة 1866 ، لاحظ كوربر وفون كروجر ان همبوغلوبين الجنين اكثر مقاومة للتغيير القلوي من هموغلوبين الإنسان الراشد . واليوم يرتكز تفارق تسعة أشكال ، منها اثنان فقط يعتبران طبيعيين ، على معايير دقيقة . ان وجود الهموغلوبين غير العادي ، السمة المتنقلة وراثياً ، هو مثل هذه « الامراض الجزيئية » التي يجب تمييزها ، في علم الامراض ، عن « علم السمات » البيوكيميائي (وهو النتيجة البسيطة البيوكيميائية للمرض) (انظر دراسة ر . ديبري وج . ديبوكوا الفقرة VI ، الفصل II ، القسم الخامس) .

هناك جملة من البحوث الجميلة ادت الى نشوء الكيمياء ـ المناعة . فقد استطاع لاندشتينر Landsteiner وتلامذته ان يبينوا اهمية مختلف المواد غير البروتيدية في ظاهرات المناعة . والمضادات ليست ابداً « كائنات عقلية » بل هي γ ـ غلوبولين في الدم نستطيع استخراجها (انظر بهذا الشأن الفقرة V ، الفصل اللاحق) . ان بعض العناصر الكيميائية في الجسم هي مزودة ـ انما بمعيار خفيف ـ بنشاطٍ عالٍ مثل : الفيتامينات والانزيمات والهرمونات .

الفيزيولوجيا الخلوية ـ ان دراسة الفيزيولوجيا الخلوية اصبحت تتم الان في المختبر كما في الجسم ايضاً وهي تحاول ان توضح العوامل التي تنعكس على الوظائف كما على بنياتها . والعوامل المنشطة حيوياً ترَدّ الى تفاعلات فيزيائية أو كيميائية . وتأثير درجة الحرارة ، والضوء ، والاصوات الحادة جداً والتيار الكهربائي مدروس فيها . ان الاشعاعات المؤينة هي التي أدت الى النتائج الاكثر اهمية . ان اكتشافات رونتجن Röntgen وآل كوري قد فتحت الطريق امام الراديوبيولوجيا أوالتصوير الاشعاعي الاحيائي : فالتشعيع يغير في العمل الخلوي ، ويؤدي الى تشوهات جنينية وفي بعض الاحيان يؤدي الى تحولات وراثية . وهو يتسبب غالباً بموت العناصر

المصابة . وهذا الاثر مستخدم من اجل القضاء على الانسجة المريضة . وتتدخل المواد الكيميائية من اجل تغيير الظاهرات الغذائية ، وتؤثر على التكاثر وتوجه الحركة عن طريق الانتحاء أو الانحراف أو بواسطة الحفز ـ الاشارة .

ان الوظائف الكبرى في الحياة ترد الى ظاهرات فيزيائية أو كيميائية . وتسربية الاغشية البلاسمية تستكشف اليوم بواسطة النظائر المشعة الاصطناعية ، وفي فهم هذه الاواليات يستعان بالامتصاص وبترتيب المجموعات المتوترة الناشطة الموجودة بين الفواصل ، كما يستعان بتنظيم الطبقات الوحيدة الخلية التي تقدم مجموعات هادفة ، كما يستعان « بتوازن دونان Donnan » . واخيراً ان ترتيبات هيكلية الخلايا الكبرى في الغشاء ترعى مسام متناهية الصغر تعطي احجامها فكرة عن حجم الجزئيات التي تجتازها . كما تحدث تفاعلات انزيمية ايضاً .

ان الغذاء يسود ليس فقط في البناءات البلاسمية الهامشية بل يتحكم ايضاً باعادة تكوين البروتوبلاسما بالذات . وسرعة استبدال العناصر المكونة ، أو اعادة التكوين قد اكتشفت بفضل الاجسام المعلمة (تجربة ڤيشيري Vichery ويوشر Pucher وشونهيمر Schoenheimer وتيتنبرغ Tittenberg (1940) ، على حنطة مغذّاة بملح الامونيوم الذي يحتوي على الازوت 15) .

الانزيمات ـ ان المادة الحية هي مركز لتحول دائم في المواد الكيميائية وفي الطاقة . واستمرارية الشكل لا تنفي تأجج التجدد . في عمليات الأيض تكون بعض المواد مزودة بنشاطات قوية . انها الأنزيمات، التي كانت تسمى في السابق تحت اسم خمائر أو دياستاز ، ولكن القرن العشرين كشف عن عددها وعن طبيعتها الكيميائية وعن اهميتها . وبصورة تدريجية ادرك ان غالبية التفاعلات الاحيائية الكيميائية تتيسر بواسطة الانزيم . ودراسة الانزيمات اصبحت علماً . وهي ترتكز اليوم على جملة من القواعد المستقرة .

وبعد مجادلات قامت بين پاستور Pasteur ، وليبيغ Liebig حول مفهوم الخمائر ، فان السنوات الاخيرة من القرن التاسع عشر (أ . بوشنر 1897, Buchner ؛ وبرتران 1897 Bertrand ؛ وكروفت ـ هيل ، 1898) شاهدت وتنبأت بازدهار سريع للمعرفة في هذا المجال وسرعان ما تحققت انجازات في فهم طبيعة الانزيمات ، وشروط عملها ـ وحتّى فهم اواليتها ـ (آ . هاردن وو . ج . يونغ ، 1904-1908 ؛ سورنسن ، 1909 ؛ ل . ميخايليس Michaelis وم . ل . مانتن 1913, Menten) ، ليتم الوصول في النهاية الى الأعمال الاساسية التي قام بها ر . ويلستاتر Willstatter (1928) والى اكتشاف قام به ج ـ ب . سومنر Sumner (1926) الذي عزل ، ابتداء من طحين الفول ، الاورياز وحصل عليه بحالة التبلر . وبعد ذلك بعدة سنوات تم الحصول على الپيپسين (ج . هـ . نورثروپ ، 1930) ، وعلى التريپسين (نورثروپ Northrop وم . كونيتز 1931, Kunitz) وعلى الريبونوكلياز (كونيتز ، 1939) ، وعلى البيروكسيداز (آ . هـ . تيورل 1940, Theorell) ، وعلى الهكسوكيناز (برجيه ، وكونيتزومكدونالد ، 1946)، الخ . وذلك بشكل تبلري . ان سلسلة الانزيمات المعزولة والمحضرة على هذا الشكل تعد الآن اكثر من ثمانين وحدة .

في سنة 1910 بيّن هـ. فون اولر ان للانزيم ، وهومادة ذات تركيب معقد ، تأثيراً خصوصياً يتناول جسماً محدداً هو الجوهر من الناحية الكيميائية ، وفي أغلب الأحيان ، يتناول الجوهر من حيث التركيب الذري الكيميائي ؛ جسمان متماثلان يخضعان لعاملين مختلفين متنوعين . وهذا المفعول ارتدادي (كروفت ـ هيل ، 1898 ؛ بوركلوه وبريدل 1912) .

ومن حيث خصوصيته الضيقة ، لا يتدخل الانزيم ، في اغلب الاحيان ، الا في حلقة من تفاعل ، والنتيجة النهائية تحصل بفضل سلسلة من الانزيمات تفعل بشكل متتالٍ وتشكل « سلسلة انزيمية » . وهي (اي الانزيمات) موجودة بكثرة في الخلية ، فتعطي للتفاعلات درجة عالية من السرعة ومن الدقة ، مع بقائها في النهاية سليمة من التلف . ان مفعولها المساعد يخضع لشروط درجة الحرارة والكامن الهيدروجيني pH ؛ وهي تتأثر بالمنشطات وبالمسكنات (ل . ميخايليس 1913) ، وعلم الانسجة الانزيمية يحرص على تحديد مكان الانزيمات في الخلايا (استكشاف الفوسفاتاز القلوي من قبل غوموري ، 1939 ، الخ) .

وتصنف الانزيمات سنداً للطبيعة الكيميائية لتدخلها . وهذا التصنيف قد تحسن بصورة متصاعدة . والتصنيف الاحدث يعالج خمس مجموعات :

1 ـ الهيدرولاز ، وتقطع الخلية الى شطرين عن طريق الماء : استراز ، غلوكوسيداز ، آميداز ، ببتيداز .

2 ـ الترانسفيراز ومن شأنها ان تحول المجموعات : ترانسمتيلاز ، ترانسفوسفاتاز ، ترانسأميناز .

3 ـ الاوكسيد ردكتاز وتؤمن الانحلال أو طرد الهيدروجين وتأجيج الاوكسيجين .

4 ـ اللياز والستياز ، وتنزع الماء أو تضيفه دون قطع الخلية .

5 ـ الايزوميراز (آز التماكب) والراسيماز وتحدث في الخلية عمليات التعنّب والتماكب.

وبينت أعمال متنوعة ، وخاصة أعمال سومنر ، باستخدام الدوران السريع جداً على الذرات وبواسطة التحليل الكهربائي (الكتروفوريز) ، ان الانزيمات هي ذات طبيعة بروتينية ؛ وهي تعرف بانحلالها امام الحرارة ، وبحساسيتها تجاه pH (سورنسن Sorensen) ، وبطبيعتها الغروية . الواقع ان كل الانزيمات ليست بروتينات خالصة . في الانزيمات المختلفة البروتيين يرتبط البروتيين (ابو انزيمي) بقوة بمجموعة ناشطة ذات كتلة جزيئية أكثر ضعفاً تسمى مجموعة بروستيتية .

وباختصار يمكن أن نسمي كوانزيم أو شبه انزيم، المجموعة البروستيتية ، مع الإشارة إلى أن شبه الانزيم قد يكون أو لا يكون مرتبطاً بالابوانزيم ، ولكن أحدهما متمم الآخر في المفعول الانزيمي (النظرية الثنائية التي قال بها برتران وهاردن من جهة ويونغ من جهة أخرى) . وبين وربورغ Warburg الدور الذي يلعبه وجود معدن ثقيل . وبالمعنى الواسع يمكن ان يكون الكوانزيم ذرة من معدن أو مثل هذه الذرة داخلة ضمن جزيء معقّد (حالة الخميرة التنفسية التي قال بها وربورغ) أو حتى مادة عضوية .

وهناك اكتشاف مهم وهو التعرف على بعض الفيتامينات من مجموعة ب كعناصر ناشطة في الكوانزيم ؛ وهذه الفيتامينات لا يمكن ان تركبها الاجسام الحيوانية ، واهمية تركيبها من قبل النباتات تبدو بارزة . وبفضل الدور الانزيمي ظهرت اهمية بعض المعادن (مثل الحديد والنحاس والزنك والمنغانيز والمنيزيوم والكوبالت) والمعروفة كعناصر ضرورية للتغذية .

في سنة 1904 بين العالمان الاحيائيان الكيميائيان الانكليزيان آ . هاردن ويونغ أنّ الزيماز ، وهو انزيم غير منسجم ، مستخرج من الخمائر (على يد أ . بوخنر سنة 1897) ، يتألف من شقين احدهما ساقط امام الحرارة وغروي وهو البروتين والآخر ثابت امام الحرارة وقابل للانتشار بالماء هو الكوانزيم .

وبينت الابحاث اللاحقة ان هذا الزيماز يحتوي في الواقع سلسلة كاملة من الانزيمات ذات الكوانزيم . واول كوانزيم معروف من هذا المجمل (كوانزيم I ، دي فوسفو - بيريدين نوكليوتيد أو D P N) قد كشفته اعمال وربورغ واعمال فون اولر ؛ وقد وضع هذا الاخير صيغته سنة 1939 ، هذه الصيغة التي تأكدت بالتركيب (آ . تود ، 1956) . واكتشف وربورغ ايضاً الكوانزيم II ، اي تري - فوسفو - بيريدين نوكليوتيد أو T P N (1931-1939) . ويتميز الكوانزيمان D P N والـ T P N بامكانية اختزالهما ، واكسدتهما تباعاً .

والكوانزيم الناتج عن الاسيتيد أو CoA الذي اكتشف ووصف من قبل ف . ليبمانّ (1945-1952) يتحوّل إلى أسيتيد ثمّ يردّ كما كان . وهذا الكوانزيم موجود في النباتات العليا (ر . سفتر ، 1954) فيبدو كاحد العوامل الاساسية في عمليات الايض الغلوسيدي والدهني والپروتيدي ، ويتدخل بشكل خاص اثناء عملية التنفس في صنع حامض السيتريك بيولوجياً (س . أوشوOchoa 1951) . وسنة 1932 قام وربورغ وكريستيان بعزل الأنزيم الأصفر . مجموعته البروستيتية هي الريبو فلاڤين ، وهو الاستر الفوسفوري في الفيتامين B_2 (ر . كوهن ومعاونوه ، 1935) . ونعرف اليوم العديد من الفلاڤوبروتين ذات ريبو فلاڤين في مجموعتها البروستيتية ؛ وبعضها يتدخل اثناء عملية التنفس .

ان الكوكاربو كسيلاز أو D P T (دي فوسفو - تيامين) - هو كوانزيم كاربوكسيلازي (نوبرغ وكاركزاغ Karczag، 1911) ، اساس بيرو فوسفوري للفيتامين B 1 - قد وضع بشكل تبلري من قبل ك . لوهمان وپ . شوستر سنة 1937 . وقد تم عزله من الخمائر من قبل انهاجن Anhagen (1932) الذي بين دوره في عملية نزع الكاربوكسيل من حامض بيروڤيك الممزوج بالاسيتالديد . وهي مرحلة اساسية في التخمير الكحولي للخمائر ولبعض النباتات . وهذا الكوانزيم يدخل ايضاً في عدة تفاعلات انزيمية مرتطة بالتنفس .

ان الكوانزيمات كلها التي تشكل الزيماز الاساسي تحتوي على ڤيتامين من المجموعة B ، وهي مشتركة بين المملكتين النباتية والحيوانية . ودراسة تفكك السكاكر - وخاصة الكحولي - ودراسة تفاعليات الاوكسيد المحلل قد اثبتت تعقيد واهمية التفاعل الانزيمية (راجع دراسة ج . ف . لوروا ، الفقرة II ، الفصل VII من هذا القسم) .

وتتدخل الانزيمات البروتيوليتيك في الهضم المعدوي الامعائي للالبومين أو الزلاليات . وقد امكن الاطلاع على التخصص الدقيق لهذه العوامل التي تسحق خلوياً البروتينيات فتحولها الى بولي - بيتيد ثم البولي - بيتيد إلى حوامض امينية . وهناك برو - انزيم تصنعه خلايا البانكرياس يجب ان يتحول الى انزيم ناشط لكي يفعل فعله .

وقد تفرز الانزيمات احياناً . وعندها تعمل على مواد خارج الخلايا . وبعض الانزيمات هي صانعة الايض البروتوبلاسمي ولا تخرج من الخلية . ومن المعروف اليوم ان الكوندريوم يحتوي على كل الانزيمات الضرورية للتنفس الخلوي .

وعلم الانزيمات حين يدرس البروتيست والميكروبات يقدّم معلومات ثمينة . ان تحوّل العضويات الدقيقة يقترن عموماً بتراجع في انزيم معين ، وكل عمليات الأيض تجري بصورة طبيعية باستثناء العملية التي لا يمكن فيها تكون مادة معينة لانعدام وجود صانع هذه المادة . وقد ثبت من جهة اخرى ان التعقيد المتدرج في الكائنات من السلسلة الحيوانية يبدو مرتبطاً بخسارة الانزيمات (لووف Lwoff, 1944) : والتطور يعتبر تقهقراً كيميائياً احيائياً .

عمليات الايض (ميتابوليسم) - لكي تعيش الخلايا النباتية والخلايا الحيوانية فهي تستخدم نفس فئات الخلايا العضوية مثل : الحوامض الامينية ، والسكريات (اوز Oses) الحوامض الدهنية ، التي يسميها م . فلوركين بالاطعمة الخلوية . وبالنسبة الى الخلية النباتية ، تتأمن الاغذية الخلوية بفضل نشاط الانزيمات المميّهة التي تهاجم البروتيد والغلوسيد والدهون المنبثقة عن التركيب الكلوروفيلي . ويغتذي الحيوان على حساب النباتات أو الحيوانات فيأخذ منها البروتيد والغلوسيد والشحم التي تتفكك الى اغذية خلوية بفضل الخمائر الهضمية . وهذه الخمائر تبدو ذات وحدة رائعة في مجمل المملكة الحيوانية . والاطعمة الخلوية الأكثر أهمية من حيث كميتها هي : الغلوسيد والحوامض الشحمية والحوامض الأمينية التي تزوّد الخلية بآنٍ واحد بطاقتها الضرورية لعملها وبالمواد الضرورية لبناء المادة الحية وللعناية بها وصنعها .

ومجمل الظاهرات المتداخلة هنا تشكل عملية ايض الخلية .

ونحن نعرف بقاياه : ماء ، ثاني أوكسيد الكربون CO_2 ، بولية (اوري) . وتفترض الحياة سلسلة من التأكسدات ، انما للحصول أو الانتهاء الى المستحضرات القصوى يجب على المواد الكيميائية المعروضة ان تجتاز سلسلة كبيرة من التحولات : هذا الايض الوسيط يقوم على سلسلة من العمليات السريعة تتم بدرجة حرارة الجسم بفضل انزيمات تلعب دور العناصر المساعدة . وقد تم الحصول على انجازات ضخمة بفضل استعمال التقنيات الجديدة . وقد درس ايض الخلايا خارج الجسم بواسطة جهاز وربورغ [1] ، وقد امكن ايقاف تابع التطور الكيميائي عند بعض المراحل ، من اجل فهم اسهل للاجسام الوسيطة ، فقد تم ، بواسطة الكروماتوغرافيا ، فصل مختلف المواد التي يجب التعرف عليها ، وقد امكن تعييرها كيميائياً في حالة الكميات البسيطة جداً ، وقد امكن ايضاً تتبع مسارات الذرات وانتقالها من خلية الى اخرى بواسطة النظائر المشعة .

(1) انظر دراسة ج . ف . لوروا Leroy ، الفقرة II ، الفصل VII من هذا القسم .

وقد خزنت الطاقة الكيميائية التي تقدمها الاطعمة الخلوية ، ضمن المركبات التي تطلقها عندما تتحلل (تواصل غني الى حدٍ ما ؛ ليبمان ، 1941) . وهذه الطاقة بعد تجزئتها تستخدم باشكال متنوعة جداً : ميكانيكية أو كيميائية أو كهربائية ، الخ .

وبدراسة التنفس ضمن المختبر ، تنفس اجزاء رقيقة لمختلف الانسجة ، وفقاً لطريقة وربورغ ، امكن تقدير زخم الايض في هذه الانسجة وكذلك ما يحدث فيه من تغيرات . اما التأكسدات التي تطلق الطاقة فانها تجري بوجود الاكسيجين المأخوذ من الخارج أو تجري بدونه . وامكن تمييز الخلايا التي تحتاج الى الهواء والخلايا التي لا تحتاجه ، وهذه الاخيرة تأخذ الطاقة اللازمة لها من التخمر . فمنذ باستور تتبعت البحوث من اجل توضيح هذه الظاهرة . ومن المعروف اليوم ، حتى في الاجسام المتطورة ، ان الخلية قد تستطيع ان تكون بآنٍ واحد مكان لعمليات أو تفاعلات امتصاص الهواء أو بدون امتصاصه . ومهما كان شكل الاستقلاب الهدمي أو الكاتابوليسم [مرحلة من مراحل الايض فيها تتفكك المركبات العضوية فتعطي طاقة بشكل حرارة أو تفاعل كيميائي مع بقايا] تنفسياً أو تخمرياً يتم التأكسد الذي يصيب العناصر الخلوية بواسطة خسارة الهيدروجين .

ويتم هذا اللانهدرج [خسارة الهيدروجين] بواسطة انزيمات اكتشفها ت . ثونبرغ سنة 1917 ، وعرفت باسم دهيدراز أو مفقدات الهيدروجين ، مع وجود قابل للهيدروجين وخلال هذه التحولات تتدخل جملة عوامل مثل الخميرة الحمراء التنفسية التي اكتشفها وربورغ سنة 1924 ، والخميرة الصفراء أو السيتوكروم الذي اكتشفه كيلن Keilin سنة 1925 ، وهي ناقلات لايونات تتدخل بواسطة الحديد الذي تحتويه [1] .

ان الحدود القصوى للاحتراق التنفسي في الغلوسيد هي CO_2 و H_2O . إن CO_2 أو ثاني أوكسيد الكربون ينتج عن فقد الكربون في الحوامض العضوية بفعل عملية دياستاز ؛ من ذلك ان كاربوكسيلاز نوبرغ يؤثر في حامض بيروفيك فيعطي CO_2 والالدبيداسيتيك . والماء ينتج عن تثبيت الهيدروجين ـ الذي ينتزع بواسطة الديهيدراز ـ فوق الاوكسجين المنشط بواسطة الخميرة الحمراء التنفسية .

ولم يفهم بعد كل شيء عن هذه التفاعلات الخلوية ولكن المعرفة تتقدم افضل فافضل حول تفصيلات هذه العمليات المتعددة الفيزيائية الكيميائية . فالحوامض الامينية والحوامض الشحمية أو الدهنية يمكن ان تتلقى داخل الخلية تفاعلات تقهقرية تأكسدية مع تحرير للطاقة . ان الحوامض الدهنية تتأكسد على مستوى ذرة الكربون الذي يحتل في الخلية موقع β (بتا) (β ـ تأكسد ، كنوب ، 1906) ؛ وبعد سلسلة من التحولات يتكوّن اسيد استيك يتقهقر بذاته ليتحول الى CO_2 و H_2O اي ثاني اوكسيد الكربون وماء (راجع بهذا الموضوع الفقرة VII ، الفصل XI من القسم الثاني والفقرة X ، الفصل II ، القسم الخامس) .

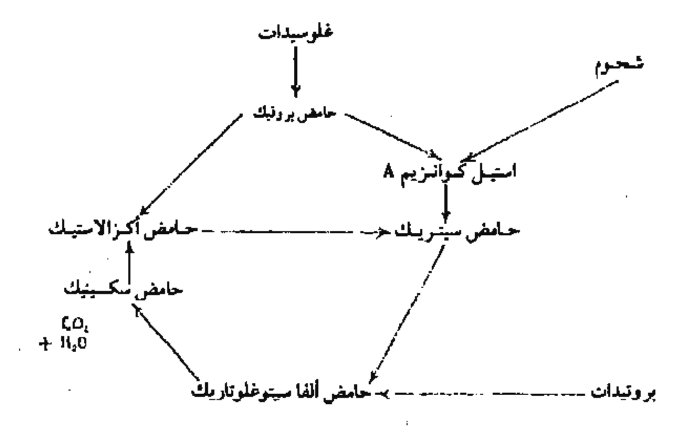
---

(1) ولمزيد من التفصيلات حول التاكسدات البيولوجية راجع دراسة ج . ف . لورا .

ان الحوامض الأمينية تتأكسد وينتزع منها الامين ، وتنشق ؛ فالمجموعة الامينية NH_2 ، تتحرر بشكل امونياك قد يؤدي الى البولة (أوري) . اما الباقي فيتأكسد بشتى الطرق ويتحول الى CO_2 و H_2O . ان هذه التحولات المختلفة تتم بفضل سلسلة من دياستاز ، وقابلات الهيدروجين وناقلات الالكترونات . ان اعمال العديد من الباحثين وخاصة زنت ـ جيورجي ، وهنس كربس H. Krebs ، وك . وج . كوري Cori ، دلت على ان الطرق الايضية لتأكسد الأغذية الثلاثة الرئيسة تتلاقى باتجاه اوالية مشتركة هي الدورة تري ـ كربوكسيليك المسماة دورة كربس . رأى هـ . كربس ، التي تعود اعماله الاساسية الى سنة 1937 ، غاية محددة في مثل هذا الترتيب : فالدورة التريكاربوكسيلية هي اداة داخل تفاعلية توحيد الطاقات الكيميائية الغذائية نحو A T P .

وهذه الدورة كما تظهر في الصورة رقم 32 تمثل التأكسدات عبر المرور بعدة مراحل : حامض سيتريك ، حامض سيس ـ اكونيتيك ، حامض ايزوسيتريك ، حامض الفا ـ سيتو ـ غلوتاريك ، حامض سكسينيك ، حامض فوماريك ، حامض ماليك ، حامض اوكزالاستيك . ان الحدود الثلاثة الأولى تمتلك 3COOH (تريكاربوكسيل) . عند مثل هذه الدورة تنتهي مشتقات الأطعمة الثلاثة عبر أبواب مختلفة .

ان الاستيل ـ كوانزيم A قديدخل ضمن الدورة بواسطة حامض سيتريك ، وقد يتأتى من ثلاثة انواع من الاطعمة العضوية . وكل هذه التحولات تتسهل عمليتها بواسطة انزيمات ذات مفعول ارتدادي . فالغلوسيد يأتي بواسطة حامض بيروفيك : عن طريق التخمر اللاهوائي ، يؤدّي هذا الحامض البيروفيكي الى حامض لاكتيك أو كحول ؛ وفي حالة التفاعل الهوائي يذهب الى دورة كربس . ومجمل القول ، ان كلّ هذه التقهقرات تنتهي الى مفترق مشترك : « بركة » أو ملتقى ايضي . ويشكل حامض بيروفيك « الصفيحة القلابة » . ان اهمية الاستيلو كوانزيم A تكمل وتحدد هذا المفهوم اكثر مما تغيره .



صورة 32 ـ دورة كربس Krebs .

وفي الخلية تتحوّل الطاقة الكيميائية التي تقدمها الاطعمة الى اشكال اخرى من الطاقة، الامر الذي يتيح العمل الميكانيكي في العضلة، والعمل الامتصاصي بخلال الافرازات والعمل الكيميائي بخلال التركيبات العضوية، والعمل الكهربائي في الجهاز العصبي، الخ. ولكن، ولتلقي مثل هذه التحولات، يجب ان توضع الطاقة الكيميائية بشكل خصوصي ذاتي (وربورغ، 1913؛ بنسلي Bensley وهور Hoerr ,1934)، اي بشكل طاقة اتصال فوسفاتية في A T P .

يقول كربس: « ان التأكسد الفوسفوري، اي التحول من فوسفات معدنية الى فوسفات عضوية بخلال التنفس الخلوي هو سلسلة مهمة من التحولات في طاقة المادة الحية ».

ان الفوسفات العضوي الأساسي A T P يتكون في كل الحالات وهو يتزاوج مع التأكسدت. وهناك علاقات كمية وثيقة بين التأكسدات والفسفرة اي التحول الى فوسفور. وقياس هذه العلاقات صعب، في الانسجة الحية، لان A T P يفسد بسرعة عند تركيبه. ومع ذلك فقد امكن قياس النسبة بين الاكسدة والفسفرة اثناء تأكسد مختلف المواد الوسيطة التي تشارك في الايض الخلوي.

الاستقلاب البنائي أو الانابوليسم [مرحلة في الايض تتضمن ظاهرات الامتصاص] ـ ان المختبر الخلوي هو محل كيمياء فيزيائية معقدة، من اجل تكسير الاطعمة بغية استخراج الطاقة منها عن طريق الاكسدة. ولكن الخلية تستعمل قسماً من هذه الاطعمة للقيام بتركيبات سيتوبلاسمية [اي نسيج بلاسمي]. والتركيبات الكلوروفيلية تكشف انه في التفاعلات المؤدية الى تشكل الغلوسيد والدهن والپروتيد بواسطة النبتة الخضراء، يلعب الحامض الفوسفوغليسريك، وحامض البيروفيك دور الوسيط، بفضل ارتدادية التفاعلات المساعدة (الديستازية).

ان الخلية الحيوانية تؤمن تركيباتها الكيميائية بواسطة الطاقة المحررة بفضل تاكسدات التكسير. ويمكن بخلال هذه التركيبات ملاحظة الانتقال من فئة من المواد الى فئة اخرى: هناك مثلاً حوامض امينية مكونة للغلوكوز: وقد يؤدي الألانين الى حامض پيروفيك وهذا بدوره الى الغلوكوز. وكذلك قد يؤدي الغلوكوز الى الحوامض الدهنية. ان تركيب البروتينات كان موضوع العديد من البحوث.

فالخلايا التي تصنع هذه المواد غنية بحامض ريبي نواتي أو A R N (اعمال كاسبيرسون حول الخلايا الكيميائية (1936-1941)، واعمال ج. براشيه (1940-1950). وتركيب الروابط البروتيدية يرتدي صفة اندرغونية endergonique : ان الـ A T P الذي تقدمه الميتوكوندري يقدم الطاقة اللازمة. ان دور A R N هو اقل وضوحاً؛ فهذا الحامض المتجمع في الميكروسوم من بلاسما الخلية (سنيوبلاسم) يبدو كنموذج اي كقالب. ان الخلية الحيوانية تستطيع صنع بعض الحوامض الامينية على حساب السيتو آسيد، المشتقة من الكاتابوليسم في الغلوسيد والحوامض الدهنية. ولكن الجسم عاجز عن صنع بعض الحوامض الامينية الدورية مثل التريبتوفان، والليزين

والهيستيدين والارجينين : وهذه كلها تستقى من الاطعمة النباتية وتمثل الحاجة النوعية الى الازوت .

وهكذا ليست التركيبات التي تحققها الخلايا الحيوانية الهيتيروتروفية [اي الكائنات الحية التي تتغذى بالمواد العضوية كالحيوانات والنباتات . . .] الا جزئية . وهي تتم انطلاقاً من المستحضرات العضوية الممصوصة ، أو على حساب البقايا أو الفضلات الباقية من الكاتابوليسم . ونمتلك بعض المعلومات حول تشكل البنيات البسيطة مثل : الغلوكوز والحوامض الدهنية ، والستيرول ، والحوامض الامينية ؛ والطريق المتبع هي عكس طريق تدميرها . ان التداعي عن طريق الاتصال ، في هذه القطع الأساسية ، يؤدي إلى سكريات مركبة وإلى پيتيدات متعددة ، وإلى شحومات حيادية . اما الخلايا الكبرى فان بناءها الهيكلي المنتظم يقتضي قالباً مناسباً : فالتركيبات البروتية تعمل ، في الخلية ، الحوامض النواتية وحامض A. T. P . وكل هذه الطرق الايضية ، سواء خربت أو عمرت ، تتشابك . والتوجه يتم بتقاطع يمكن تصور أهميته وأهمية تنظيمه .

الاعمال الفيزيائية ـ ان الحركة الخلوية تحدث تغييرات في الضغط السطحي وتغييرات في الرطوبة أو اللزوجة . وتأثير العوامل الفيزيائية والكيميائية حول التوجه يعود إلى مسألة توجهات وسلوك الكائن الحي .

ان بعض الخلايا تظهر في عملها اعمالاً اخرى فيزيائية . احداث التيار الكهربائي بواسطة العصب والعضل الناشطين معروف تماماً . وقد اتاح التقدم التقني الاساسي المحقق بخلال القرن العشرين ، وهو تضخيم هذه التيارات بفضل لمبات تريود [انبوب كهربائي ذو ثلاثة مسارب] وتحليلها بواسطة المسجل التأرجحي الكاتوذي ، تسجيل التيار الذي تعطيه خلية عصبية واحدة . وقد درس القرن التاسع عشر النبضة الوحيدة الصادرة عن تحفيز العصب صناعياً . وقد بين العلماء اليوم ، ضمن الشروط الفيزيولوجية ، ان النبضات تتالى بشكل « قطارات من الموجات » . واخيراً اصبح تسجيل الموجات الدماغية الفجائية شائعاً في الاستخدام لدى الانسان (راجع بهذا الموضوع دراسة ر . دوبري ، وج . ديبوكوا ، الفقرة V ، الفصل الاول ، القسم الخامس) .

الموت الخلوي ـ ان سيف الموت المسلط الذي يترصد كل عنصر حي قد تم تحليله ايضاً . ان التوقف المؤقت في الوظائف الحيوية يمكن الحصول عليه بواسطة التجميد المقرون بالتشريح ، وتعيد التدفئة النشاط من جديد . في جسم الراشد الكائن عالي التنظيم تحدث بدون توقف ميتات جزئية لا تحصى ، مقرونة باستبدالات للعناصر الميتة . وحتى بعد توقف القلب ، يبدو الاحياء من جديد ممكناً عند الانسان وعند الثدييات . ومنذ التصور الويزماني لسلسلة نطفوية مستقلة عن السوما [مجموعة الخلايا التي تكون الجسم] القابلة للتلف تعتبر النطفة او المضغة وكأنها مزودة بخلودية كامنة . ولكن الخلايا السوماتية بذاتها تتكاثر بدون حدود في المختبر ، وكذلك البروتيست [احدى الممالك في الكائنات الحية وتحتوي على الكائنات الوحيدات الخلية] ، ضمن ظروف ملائمة .

ان تقنية الزراعة التي وصفها كاريل قد اثبتت وجود مبدأ شبابي دائم في النطفة المتطورة

(الفوتوس) ، وزوال هذا المبدأ هو سبب العجز الخلوي . وتحاول البحوث الحديثة استكشاف التركيب الكيميائي الدقيق لهذا المبدأ .

II ـ زراعة الانسجة

ان زراعة الانسجة ، اي الحياة والتكاثر داخل المختبر للخلايا المستخرجة من جسم ما هي من صنع القرن العشرين حصراً ، وقد نقلت عن زراعة البكتيريا ، التي اتاحت لباستور ان يبين عدم وجود الخلق المباشر . في سنة 1903 حفظ ج . جولي خلايا كرويات حمراء ، من التريتون ، في وسط سائل وراقب حركتها وانقسامها . وفي سنة 1907 غطس ر . ج . هاريسون خلايا عصبية نطفية من الضفدع في اللمف المجمد ورأى نيروبلاست تتحول الى خلايا عصبية راشدة مع امتداداتها . وزرع م . ت . بورروس Burrows خلايا نطفة فرخة في بلاسما دم .

وابتداءً من سنة 1910 اعطى آ . كاريل ، وفي اغلب الاحيان بالتعاون مع بورروس ، للطريقة ذاتها تقدماً ؛ ان اكتشافه الحاسم (1912) وهو اضافة مستخرجات نطفية (تريفون) الى الوسط المستخدم ، سهل بشكل عجيب نمو الخلايا .

وهكذا تم تحديد الشروط الاساسية التي يجب اعمالها أو توفرها : دعامة متينة تسبح في وسط سائل ، وغذاء ودرجة حرارة مناسبين ، ثم حرية المبادلات الغازية ، واستبعاد الرواسب ، واستحداث المناعة التي من شأنها منع كل تفاقم ميكروبي في العصائر النطفية . ومن بين التحسينات التفصيلية ، نذكر « الزراعة ضمن انبوب دائر » (Gey 1933) .

ومنذ 1945 حررت المبيدات العضوية الممارسين من الانشغال بالمناعة الدقيقة . ان الدعامة الليفية قد استبدلت بمواد لدائنية بشكل شرائح رقيقة . واستعملت اوساط تركيبية معقدة جداً . وبصورة متزايدة اصبحت زراعة الانسجة وسيلة ثمينة للاستقصاء في يد عالم الانسجة والمتخصص في الاجنة وفي علم الامراض .

سنة 1912 وحتّى سنة 1939 شتل كاريل Carrel قاعدة جذر في فيبروبلاست من فرخ فأثبت ان الخلايا المعزولة عن الجسد هي غير قابلة للموت جذرياً . ولكن الانتشار الهائل الذي بدا على سلسلة من العناصر المنتقاة (الزراعة الخالصة) قد تقلص بعنف امام الاتصال بمجموعة اخرى نسيجية (او ما يسمى بالزراعة المختلطة) . والعناصر التي تتحكم بالتفريق ، عند تنامي الجنين ، أو عند الراشد ، قد حللت ضمن ظروف تجريبية مثالية : ان الاثر الحامض في الشفة المشفرية الخلوية ، المبين في المختبر على يد هولتفريتر Holtfreter الذي استحضر عن طريق الزراعة اكتشاف سبيمان Spemann الاساسي ، والتفريق الفجائي بين نسيج القلب العضلي وعظم الفخذ ، والمكامن في الخلايا الدموية (ماكسيمو وبلوم) ، هي معطيات حصلت وقدمت بين سنتي 1925 و 1937 .

ان زراعة الانسجة ـ حين اتاحت الحصول على قشرة رقيقة من الخلايا ، قابلة للملاحظة وهي حية ، تمايزاً مع الحال أو الوضع ـ سهلت دراسة العوامل الضرورية للتغذية ، ودراسة تأثير

الاشعاعات ، وأثر العوامل التي لا تساعد على انقسام الخلايا ، وتعداد الكروموزوم (الصبغيات) البشرية ، الخ . . .

وفي مجال الامراض نذكر بعض الانجازات : تحديد المرضية الخلوية ، ملاحظة اندماج البلعمات الكبيرة في « خلية عملاقة سلية » عندما نضيف عصويات كوخ Koch (ماكسيمو) ، الخ .

واخيراً اتاحت هذه الطريقة في الخلايا زراعة ڤيروس هي من نوع الطفيليات الضرورية وذلك لغايات متعددة مثل : عزل وحفظ الجذور الفيروسية ، وتضعيف الفيروس بقصد التلقيح ، وتحليل الايض الفيروسي ، الخ .

ويجدر ايضاً ان نذكر زراعة الاعضاء أو النماذج العضوية التي سبق اليها هـ . ب . فلّ . وهذه التقنية قد طورت منذ 1951 خاصة في مختبر آ . وولف . يقول هذا الاخير « ان هذه التقنية قد اتاحت احياء وتطوير مجملات متماسكة ، وقد استبعدت الانتشار غير المتناسق للانسجة أو تكاثرها » وقد امكنت ملاحظة التآلف بين الخلايا المختلفة من اجناس مختلفة . كما تمّ تحقيق اجتماعات بين أورام في ثديات وأعضاء جنينية في الفرخ ، وجذور سرطانية بشرية في أحشاء عصفور . وهكذا تكشف انعدام التعارض الجنيني ، خلافاً للمعطيات التي يقدمها التطعيم .

III ـ نقل الحياة

ان ظاهرة التوالد الذاتي تبدو كسمة اساسية في الحياة ، وسرها الغامض هو الذي يميزها عن المادة غير الحية . وقد شبهت ظاهرة الحياة بتفاعلية نقلية تستعيد تماماً النموذج الاساسي .

التكاثر الخلوي : الميتوز ـ في القرن العشرين امكن توضيح مدة مراحل التكاثر الخلوي أو الميتوز تجريباً على خلايا حية . وانه بعد استعمال « فرق الوضع » امكن تتبع صور مسار هذه العملية بسهولة ؛ وقد تم بذات الوقت رصد الحركات السريعة ، وتبادل الكرات الاميبية اثناء العملية . وكان الميكروسكوب الالكتروني مفيداً جداً في هذا المجال .

واخيراً عكف على وصف وتصنيف النماذج الخاصة ، في البروتيست أو وحيدات الخلية ، بالنسبة الى الاقسام المراقبة بواسطة الميكروسكوب الوسطي . ومن ناحية الاواليات الحميمة اعتبر تدخل السنتروميرات ، وهي حبيبات تربط الصبغيات أو الكروموزوم بالمغزل ، وكأنه ينبىء عن حركية التنقل الكروموزومي .

ويتعلق التحكم في التكاثر الخلوي ببعض العوامل الفيزيائية . فهناك مواد مختلفة كيميائية تؤثر في عملية الميتوز أو التكاثر .

ان اشعة X والراديوم تؤثر بقوة في الخلايا المنقسمة : من هنا استخدامها في معالجة التورم السرطاني . وهناك اشعة ميتوجينية ذات طبيعة غامضة قد اكتشفت ؛ وهي تنبثق عن خلايا في حالة التكاثر فتولد من بعيد تكاثرات اخرى .

لقد اوضحت تجارب كاريل التحريض على التورم بواسطة المستخرجات الجنينية . وقد تم اكتشاف الحاجة الى بعض الحوامض الأمينية التي لا يستطيع الجسم صنعها مثل التربتوفام . ان بعض الهرمونات المسماة ميتوجين ، تؤثر على نمو الجسم عموماً مثل : السوماتروفين والتيروكسين الخ . وهناك هرمونات أخرى تؤثر في اللاقطات الخاصة مثل الاستروجين في المبيض . ومنذ الاعمال التي قام بها ياماجيوا Yamagiwa وايشيكاوا Ichikawa (1917) ، امكن تحضير اجسام تأكل السرطان ، واشهرها الكربورات المتعددة الدورات . وهناك عوامل مزيلة للتخدير كانت موضوع بحث واستقصاء : التريبافلافين (هرتويغ ، 1913 ؛ داستين ، 1925) ؛ وملونات قاعدية (بوليتزر ، 1924-1934) ؛ السزرنيخ (لودفورد 1936) ، الكولشيسين (ليتس ، 1933 ، داستين ، 1934) ؛ المضادات المستقلبة (مارتن 1951 ؛ روبلين ، 1954) ، الخ . البعض منها يؤثر في المغزل فيجمده في حالة الميتافاز ، والأخرى تؤثر في الصبغيات فتعمل على فصلها وعلى تجزئتها ؛ وهناك أخرى تمنع السيتوديريز . ونرى أهمية مثل هذا السلوك في البحث من أجل محاولة اكتشاف معالجة طبية للأورام في علم الأمراض البشري .

ان التحكم بمختلف فئات التكاثر الخلوي يتنوع ومن الواجب تمييز التكاثر الانشطاري عن النمو ، عن التئام الانسجة ذات التجدد المستمر عند الراشد ، واخيراً يجب تمييز التكاثر البلازي الجديد .

وهناك عدة مكونات لتفاعليات الانقسام الخلوي ، تجب رؤيتها : تمثل المواد ، الايض غير الكامل الذي يكون بروتوبلاسما خاصة ، والذي هو مسألة ايضية ؛ وكذلك التكاثر الذاتي في الاعضاء الخلوية ؛ ونقل الموروثات الثابتة الى الخلايا الوليدة .

التوالد الذاتي في الاعضاء الخلوية ـ ان القدرة على التضاعف أو التكاثر هي الميزة الاساسية في الحياة ؛ والاستمرارية التخلقية تبرز على صعيد الخلية . فالسنتروزوم والكروموزوم هي المكونات الخلوية التي لا شك في استمراريتها التخلقية .

ومعارفنا حول طبيعة السنتروزوم ما تزال غير كافية .

نحن لا نعرف الا القليل من الاشياء من موضوع تركيبها الكيميائي . ولما كان الريبونو كلياز يجمد الميتوز أو التكاثر محدثاً مفارقات في الجهاز الأكروماتي ، يستنتج من ذلك ان الـ A.R.N في السنتروزوم يلعب دوراً في تكاثره .

ان الجهاز التكاثري وليد الأستروالمغزل ، هو على العموم محب للركائز أكثر من بقية اقسام السيتوبلاسم . وقد امكن عزله كتلة ، وعثر فيه عن طريق الكيمياء على A. R. N وعلى بروتينات كروية تتحد جزيئاتها بواسطة وشائج يدخل فيها الكبريت . وفي سنة 1931 افترض رابكين ان الاستروالمغزل تنتج عن تغير في الطبيعة ارتدادي ، طبيعة البروتين تحت تأثير مجموعات سولفهدريل . ان الكولشيسين يمنع تشكل الالياف المغزلية .

ان الكروموزوم ليست ضرورية للدورة التكاثرية في الجهاز اللاصبغي . وهي دعامة الثروة .

الفردية فتنقلها الى الخلف بواسطة ظاهرة التكاثر الذاتي . وتلاحم المعطيات السيتولوجية أوالخلوية التجريبية والبيوكيميائية ادى الى اعطاء مكانة فضلى لـ A D N في هرم القيم الحيوية .

IV ـ الأشكال تحت الخلوية في الحياة

1 ـ الميكروبات

لقد عرَّف القرن التاسع عشر بعالم ميكروبي له اشكاله الميكروسكوبية الفردية ، التي تعطي زراعات في المختبر مزودة بنشاط ايضي ينتهي الى تخمرات والى عوامل فاعلة في امراض معدية كثيرة .

في القرن العشرين استكمل جدول البكتيريا بعد اكتشاف ميكروبات امراضية مثل تريبونيم السفلس على يد شودين سنة 1905 ، وعصية السعال الديكي على يد بورديه وجينغو سنة 1906 ، وميكروبات الحميات التيفودية ـ الطفحية (هـ . ت . ريكتس ، 1906-1910) والعديد من الانواع التي تعيش بشكل نباتات متعفنة في الاوساط الخارجية . ووصف الميكروبات النباتية في الماء ، وفي الهواء وخاصة في التربة له اهمية كبيرة في علم التربة Pédologie ، وكان هذا الوصف مفيداً ايضاً من اجل البحث المنهجي عن البكتيريا وعن الستربسوميس التي تنتج المضادات الحيوية (س . آ . وكسمان 1944, Waksman) . ان الحاجة الى التصنيف بدت اكثر الحاحاً وادت ـ باعتماد التعداد المزدوج الاسم التقليدي ـ الى اعمال كل من : د . هـ . برجي 1923 وبريفو ؛ هذه المنهجية تأخذ من الاعتبار بآن واحد علم التشكل ، سمة الزراعات وخاصة النشاطات الايضية في الميكروبات ، اي تجهيزها الانزيمي وتركيبها الكيميائي .

وهذا الوصف للنباتات الميكروبية ، ودراسة الشروط البيئوية في تغيراتها ، وتقدم تقنيات التعقيم كان لها صدى في الصناعة (التخمرات ، الاجبان ، المحفوظات الغذائية المعلبة) وفي مشاكل الصحة العامة (مياه المشروبات ومياه المجارير ، والحليب) . ان فهم اهمية ظاهرات التعقيم كان له تطبيقات عملية علاجية مهمة .

ان الدراسة الخلوية للبكتيريا أدت الى استبدال المفاهيم المضللة في الكائنات الحية البسيطة جداً بمفاهيم الخلايا الكاملة المكوَّنة من نسيج خلوي بلاسمي ومن غشاء نسيجي معقد ومن نواة . واذا كانت بنية النواة بسيطة جداً ، فانها رغم ذلك مكونة من A D N ، كما هو الحال بالنسبة الى الكائنات الحية العليا . وفي الواقع ان وجود جسم مركزي يعطي تفاعل فولجن ، قد ثبت (روبينو 1944 Robinow) . وبين بوافان واعوانه (قبل 1947) ان الريبونكلياز يستبعد التلوينية أو الاستعداد التلويني السيتوبلاسمي الذي قال به جيمسا Giemsa ، مع احترام هذه التلوينية في الجزئيات النووية ؛ مما يثبت وجود A R N السيتوبلاسمي .

ان التقنيات البيوكيميائية وخاصة تقنيات علم الانزيم ، قد استخدمت جداً في علم الميكروبات . ودراسة عمليات الايض الوسيطة تقدم فائدة تجاوزت اطار علم البكتيريا وحده . نذكر ايضاً : تفاعليات التأقلم أو التكيف بواسطة فقدان الوظائف ، وهي تفاعليات تتوافق مع الفقر

الانزيمي (لووف 1944) ونذكر ايضاً عمليات الايض الاساسية ، وعوامل النمو (وودس Woods ، فيلدس Fildes)[1] مع تطبيقاتها على المعايرة الميكروبية البيولوجية للفيتامينات وعلى تفسير اوالية الكيمياء الاستطبابية بواسطة السولفاميد . وهكذا تصبح الميكروبات بالنسبة الى الكيميائي الاحيائي اداة دراسة ثمينة جداً ، سواء تعلق الامر بالبكتيريا ذاتية التغذية وبالظاهرات الكيميائية التركيبية أو تعلق بتفاعلات التخمر . لقد اتاح التقدم ، في معرفة النشاطات البيوكيميائية المتنوعة لدى الميكروبات ، فهم شروط مسكنها في الاوساط الخارجية او في الحياة الطفيلية ، وكذلك مسألة الفتك الميكروبي . وقد استفاد علم المناعة ايضاً من الطرق الكيميائية (المناعة الكيميائية ، لاندستيز Landsteiner) .

وهكذا دخلت البيولوجيا الميكروبية بالبيولوجيا العامة . فاستعارت تقنياتها من مجالات عدة : الكيمياء الاحيائية (بيوكيمياء) ، وخاصة علم الانزيمات ، والفيزياء الالكترونية وعلم الخلايا الوصفية والتجريبية ، والوراثية والاحصائية . وبذات الوقت ، انقسمت الى فروع متميزة : علم البكتيريا الطبي ، علم الميكروبات المتعلق بالتربة ، البيوكيمياء الميكروبية ، الوراثة الميكروبية ، علم المناعة ، الخ . ونهضتها برزت من خلال اسناد جائزة نوبل الى علماء في الميكروبات .

2 ـ الفيروسات والحياة الأوّلية

ان وجود اجسام صغيرة جداً غير مرئية بالميكروسكوب قد فرض نفسه لاول مرة في فكر باستور ، عندما فشلت كل محاولات اثبات عامل الكلب . وقد توصل آخر القرن التاسع عشر الى كشف هذه الاجسام بطريقة غير مباشرة : ان هذه الكائنات الطفيلية ، بعد سحق الأنسجة التي تحتويها ، تخرق المصافي ، وتنقل بعد الرزق ، المرض الذي تحمله : من هنا اسم الفيروسات الراشحة الذي اطلق عليها .

ان علم الفيروسات قد احرز في القرن العشرين تقدماً مهماً . وتوجد فيروسات مسؤولة عن بعض الأمراض المعدية أصغر وأبسط من البكتيريا[2] . لقد أتاح الميكروسوكوب الالكتروني دراستها مباشرة .

خصائص الفيروسات وتصنيفها ـ ان شكل الفيروسات متنوع . وامكن بفضل المركسة الدائرية [جرن التنشيف] تحديد حجمها ، وهو يتراوح بين أحجام الماكرو جزيء (8 إلى 12 $m\mu$ بالنسبة الى فيروس الحمى القلاعية ؛ لوفر Loeffer وفروش ، 1897) وبين حجم ميكروب صغير 400 $m\mu$ بالنسبة الى فيروس مرض نيكولا وفافر 1913, Faver) . ان ملتهم البكتيريا الذي اكتشفه

(1) ان النمو المتوازن في البكتيريا يتأمن بسلسلة من الاواليات المتماسكة ، تحفز أو تعطل تركيب البروتينات . واضافة الميتونين ، والأرجينين ، والتريبتوفان ، الى زراعة البكتيريا ، تحدث تبطيء أو توقيف تركيب الانزيمات التي تؤمّن سلسلة من التفاعلات المتحكمة بتشكيل هذه البروتينات .

(2) راجع ايضاً ، بهذا الموضوع دراسة و . دوبري وج . ديبوكوا الفقرة VII ، الفصل 1 ، القسم الخامس .

ف . هيرل Hérelle (1917) يتألف من رأس مدور مزود بـذنـب ، ولكن غالبيـة الفيروسـات هي أكثر بساطة : عصيات ، خيطيات او كرويات .

ويشبه التركيب الكيميائي للفيروسـات الكبرى تـركيب الميكرويـات . وابسطهـا تبدو وكـأنها ريبـو ـ نوكليـو ـ بروتيين خـالصـة ؛ وهي تستطيـع ان تتبلر . ان « فسيفسـاء » التبغ ، وفسيفسـاء اللفت ، تعـزى إلى فيـروسـات امكن عـزلهـا بشكـل بلورات (و . م . ستانلي ، 1935) . هـذه البلورات تحفظ ضمن أنابيب مختومة ، وليس لها حيـاة خاصـة بها ؛ ولكن اذا ادخلنـاها في خليـة نباتية فان الفيروس ينتشر ويتكاثر ويتسبب بالمرض .

ان خصوصية الفيروسات تظهر للعيان من خلال الامراض المتنوعـة التي تحدثهـا (الكلب ، الكـساح ، الحمى الصفراء ، الحمى القلاعيـة الخ) . وكذلـك بفضل خصـائصها المضـادة ، ويتميز النوكليوبـروتيين الذي يؤلفهـا بطبيعـة ركائـز الحامض النـوكليك ، وبـطبيعة الحـوامض الامينية في البروتيين . وقد تم تعداد سبعة انماط من اكلات البكتيـريا التي تهـاجم « الأيشيريشيـا كولي (ت 1 حتى ت 7) . ويتيح شكلها توزيعها الى أربـع مجموعـات تتطابق مـع المجموعـات المضادة التي يمكن تقريرها فضلاً عن ذلك . ان الفيروسات هي طفيليات خلوية داخلية ، اضـطرارية ؛ واليـوم تزرع على مادة نسيجية .

وقد صنِّفت ، تبعاً للمضيف الذي يأويها ، الى مجموعات اربع كبرى هي :

1 ـ فيـروسـات ممـرضـة للنبـاتـات الـدنيـا (البكتيـريـا) : اكـلات البكتيـريـا (رو ,1917 Roux) ؛

2 ـ فيروسات ممرضة للنباتات العليا : فيروسات المزروعات ؛

3 ـ فيروسات ممرِّضة للافقريات : فيروسات الحشرات ؛

4 ـ فيـروسـات ممـرِّضـة للفقـريـات مـع انتحـاء البعض منهـا تبعـاً للمنشـأ الجنيني للنسيج الحسـاس . ومن بينها يمكن تمييـز خمس مجموعـات : فيروسـات انحرافهـا أو ميلها نحـو الجلد الخارجي (جدري البقر والجدري) ؛ فيروسات تميل للاعصاب الخالصة (الكلب) ؛ فيروسـات تصيب الاغشيـة الداخليـة (لامفو ـ غـرانولـوماتـوز تناسلي عنـد الرجـل الخ) ؛ فيـروسات تعفنيـة (الحصبة ، حميراء ، الخ) ؛ فيروسات تكاثريات (ورم رو ، 1910 ؛ تكاثر الكـريضات ، تكـاثر الخلايا البيضاء في الدم ، الانتقالية ، ثؤلول ، الخ) .

توبىء الفيروسـات الخلية حين تـسلل اليهـا من الخارج ؛ وقـد تخرج منهـا لاحداث العـدوى بـطريقة البكتيـريا . ان التسـرب داخل الخليـة متبوع في اغلب الاحيـان بكمون طـويـل قبـل ظهـور المرض . وهذا الظهور مرتبط باعمال مدمرة للخلايا في بعض الاحيان كمـا هو الحـال في الكـساح ، أو محفـزة للخلايـا ، كمـا هـو الحال بـالنسبة الى الفيـروسات المـولدة لـلاورام . ويمكن التثبت من الاصـابات الخفيـة بزدات الفعـل المصلية . والاصـابات الخفيـة منتشرة جـداً . وتفقد الفيـروسـات الكامنة تنظيمها التشكلي وتنقلب الى جـزئيات نـوكليوبـروتينية شبيهـة بالجينـات . هذه الفيـروسات الخلفية تندمج في الحياة وفي بنية الخلية . وقد ينقلب الفيروس الخفي إلى فيروس متكاثر عن طريق التشعيع أو بأثر كيميائي ، أو عفوياً وفجأة .

الفيروسات ومسألة الحياة ـ هل يمكن ان تتوجد الحياة خارج التنظيم الخلوي ؟ تطرح المسألة فقط بالنسبة الى الاشكال الفيروسية . ففي الطرف الادنى من السلم ، تبدو الفيروسات جزئيات صغيرة جداً ذات بنية منسجمة وذات تركيب ثابت ، وقد تكون او تتوجد بشكل بلوري دون ان تفقد شيئاً من قدرتها المويثة . في الطرف الاعلى ، تبدو الفيروسات ذات الحجم المقارب لحجم اكبر الخلايا البروتينية ، كاجهزة ذات بنية وذات شكل معقد مع وجود تنظيم قريب جداً من البكتيريا اي من الخلايا . ان اغلب الفيروسات الامراضية للانسان والحيوان تقع بين هذين الطرفين .

هناك عدّة أسئلة قيد الدرس تتصدى لمسألة الحياة بالذات ، منها : الرابط بين البروتين والحامض النووي (النوكلييك) ، التكاثر الفيروسي ، الوراثة الفيروسية ، التزاحم بين الفيروسات والاعضاء الخلوية .

1 ـ في فيروس فسيفساء التبغ ، يقع القسم النووي بين غلافين بروتيين . وقد امكن فصل المكونتين الكيميائيتين واعادة مزج الـ A R N [اي حامض الريبونوكلييك] في فيروس « بلانتين » Plaintin مع بروتين فيروس موزاييك (فسيفساء) التبغ : ونصل الى جرثومة تتسبب باعراض « البلانتين » وتدل على الخصائص المضادة لفسيفساء التبغ . ولكن هناك اكثر : الـ A R N ، اذا كان يستخرج بشكل مدبر بما فيه الكفاية ، فانه يبدو مويثاً بذاته .

2 ـ وانتاج الفيروسات يشكل مسألة رئيسية في علم الاحياء الحالي . وقد توضحت آليته في آكلات البكتيريا .

ان آكل البكتيريا يتعلق بذيله فوق سطح بكتيريا ، ثم يفرغ نفسه ، وينقل محتواه الى داخل البروتوبلاسما البكتيرية في حين يبقى جلده معلقاً بالسطح .

بعد هذه الحقبة الكمونية ، فجأة تظهر داخل البكتيريا حبيبات عدة تعيد المظهر النمطي للجزئية الأصلية الاولى . وبعد لحظات تتفسخ البكتيريا محررة ملتهمات البكتيريا . وتبدأ الدورة من جديد على بكتيريا جديدة .

ويقرر التحليل الكيميائي للظاهرة ، بواسطة عناصر موسومة ، ان الـ A D N ، بصورة اساسية ، هو الذي ينتشر في هيولي الخلية : ان تكاثر الآكل ، الذي يتم تحت تأثير ما فيه من A D N ، يحصل اذن على حساب ايض الخلية المضيفة .

والبحوث تبدو اقل تقدماً فيما يتعلق بفيروس الحيوانات ؛ إنّ اوالية تناسلها لا تختلف كثيراً عن اوالية الأكلات . ان ظاهرة اختفائها ثابتة . ويدل الميكروسكوب الالكتروني ان الجزئيات التي تسربت الى داخل الخلية المهاجمة تذوب تماماً . ولا وجود للتكاثر عن طريق الانقسام الثنائي ، بل اعادة توزيع لمكونات حشوة الخلية ، مع تكون جزئيات جديدة من الفيروس .

ان تفاعلية التكاثر الفيروسي قد تحصل في الحشوة او في النواة . ويظن انه قد ثبت فيها حصول جزئيات غير معدية ، وهي فيروسات غير مكتملة أو « پروفيروس » (= بدء فيروس) ،

يمكن نقلها كما تنقل الاجزاء الهلسموية الناقلة للوراثة (نقل فيروس الحساسية من ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) ، ونقل العنصر اللبني كما قال بيتنر Bittner لسرطان الثدي ، 1936) .

3 ـ ان الوراثة في الفيروسات قد عولجت من زاوية التهجين ومن زاوية النقل (راجع ايضاً دراسة آ . تتري الفقرة I ، الفصل IV من هذا القسم) .

وقد تبين ان أنماطاً وراثية جديدة تولد في كل مرة تختلف فيها الأنماط الأبوية في صفتين . فقد تم تحقيق انتقالي تحت تأثير الأشعة . منذ 1952 افترض لوريا ان قسماً من آكلات البكتيريا يحتوي عدداً ما من الوحدات ذات التناسل الذاتي ، قادرة على تلقي انتقال مميت تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية . وقد حسب العدد الأدنى من الوحدات (n) التي تحتويها جزئية من آكل البكتيريا (25 في T_2) .

يؤدي التحليل التجريبي الى افتراض ان الوحدات تتكاثر بصورة مستقلة لكي تشكل مجموعة من الجينات انطلاقاً منها يمكن ان تتكون جزئيات جديدة ناشطة . وبالنسبة إلى فيروس الرشح (الزكام) تم حسبان ان كل جزئية تحتوي على جينة كبيرة أو عدة جينات كبيرة يحتوي كل منها على الاقل عشرين جينة .

4 ـ ان الفيروسات بحكم عجزها بذاتها عن القيام بتبادل الطاقات الضرورية لتركيباتها ، فما هي الآليات الخلوية لمضيفها التي تقوم بمهمّة المبادلات ؟

تستخدم الفيروسات الصغيرة التجهيز الانزيمي في الخلية المضيفة . ولكن النوكليوبروتين (البروتين النووي) الفيروسي يقدم طاقة حائلة ، أو استعداداً لتنسيق الانزيمات الخلوية باتجاه مناسب . ان الفيروسات ذات A D N تتكاثر بالتجمع مع الخلية في حين ان الفيروسات ذات A R N تستثير تزايداً في الايض داخل النواة الصغيرة وداخل السيتوبلاسما ذات النواة الطرفية . ان التركيبات الجارية عند مستوى الفيروس قد درست بواسطة عناصر ملحوظة في الوسط المجاور ؛ ونجد هذه العناصر أساساً في الفيروس وليس في الاعضاء الخلوية .

والفيروس هو حادث خاص ذاتي يحاول في الخلية ان يتقدم على الحادثات الاخرى . واذا كان قد كعم بمضادات فيبقى في حالة الفيروس الكامن . واذا كانت الظروف الخلوية ملائمة ، فانه يتنافس ايضاً مع الحادثات الطبيعية العادية ، ومع الاعضاء الخلوية ذات الانتاج الذاتي . وهو اي الفيروس منافس مميز إذ ينسق التفاعلات الخلوية لصالحه . ولكن الأواليات العامة هي نفسها : فالفيروس كعامل مرت يوضح لنا تفاعليات الحياة .

وبمقدار الاضطرار الى البحث داخل الخلية بالذات عن اسرار الحياة ، فإن كل أمل بالعثور بشأنها ، على الحل ، يوماً ما ، يتلاشى امام تعقيدات عالم يفر امام التحليل الكامل .

اما بالنسبة الى الفيروسات فلم يكن الامر بهذا الشكل : فالفيروسات ، بعد ان تحفظ لنفسها أو تكتسب نوعاً من الاستقلال الذاتي ، بالإمكان فصلها عن الخلية ، وتحضيرها في حالة النقاوة

واخضاعها لاستقصاءات تتيح يوماً ما فهم بعض مراحل تفاعلية الحياة ، والتمثل والتكاثر في المكونات الخلوية (ج . اوبرلينغ Oberling) .

ان الحياة الاكثر أوّلية لا يمكن ان تدرس الا عند مستوى عضو ضمن الخلية . ويقدم الفيروس مادة امتيازية مختارة ، معطى حقيقياً تجريبياً للطبيعة .

لقد اشار ج . براشيه Brachet الى التشابه الوثيق بين فيروسات النباتات والميكروزوم . ويمكن ايضاً التساؤل عن ماهية الفرق الموجود بين جينة وفيروس . وهناك افتراضات متنوعة قد صيغت في موضوع هذه المسألة المهمة بشكل خاص ؛ ومن احدث الفرضيات فرضية بوافين Boivin وفاندريلي Vandrely (1947) التي تعطي دوراً اساسياً للحوامض الريبونوكلية التي تحملها الميكروزومات والتي تعتبر كمراكز موجهة ثانوية في الخلية . ولكن في الحالة الراهنة من البحث، تعتبر هذه المسألة بعيدة عن الحسم .

هل تمثل الفيروسات حالة سابقة على الخلية ، ذات تصاعد نحو تنظيم خلوي مستقل ؛ أو هي بالعكس اشكال مختلفة من تنظيمات متكيفة مع حياة طفيلية ؟

هل يجب ان نرى ان الكائن الحي يمكن ان يرد الى خلية كبيرة واحدة ؟ يبدو انه من الصعب اعتبار الفيروسات ككائنات بدائية لانها لا تقدر على التكاثر الا في حالة الطفيلية داخل الخلايا .

ام ان الامر يتعلق بتقهقر ناتج عن الطفيلية وينتهي ، في المآل الاخير ، الى خلية كبيرة من النواة البروتينية (نوكليو بروتين) يفسر جمودها بخسارتها للنظام الانزيمي ؟ وهكذا هل نصل الى اطراف الحياة ؟ اننا ندرك اهمية هذه البحوث في البيولوجيا العامة وفي الطب .

كتب پ . ليپين P. Lépin بهذا الموضوع يقول :

« ان الحدود بين الحياة والموت . . . مثبتة ، لا عند حدود افرد ، غير الواضحة عندما نصل إلى الاشكال الأولية ، ولا حتى عند حدود الخلية لأن الفيروسات ذات الحجم الكبير تظهر لنا كبنيات خلوية غير مكتملة ، رغم انها حية ، بل في الحفرة التي يجب منطقياً ان تفصل المادة العضوية الحية عن المادة العضوية غير الحية .

« اننا نصل هنا الى عقدة مسألة الفيروسات ، العقدة التي بها تظهر هذه العوامل الوبائية في بعض الاحيان قريبة جداً من الجينات ، هذه الدعائم المادية للوراثة والتي تتجمع في الكروموزومات والتي ترتبط ، مثل الفيروسات ، بشدة في سير عمل الخلية وتناسلها ، وفي حياتها ، دون ان تمتلك بذاتها وبشكل مستقل ، خصائص الحياة » .

الفصل الثاني

بعض المسائل الكبرى في البيولوجيا الحيوانية

في الوظائف الكبرى التناسلية والغذائية والتنسيقية تظهر اختلافات بنيوية وفيزيولوجية متعددة ، باختلاف الانواع الحيوانية والنباتية . ونحن سنعالج بصورة أساسية هذه التفاعليات في الاجسام الحيوانية الاعلى على الصعيد الحيواني ، حيث تظهر هذه التفاعليات في تعقيداتها الاكبر والابرز[1] .

I ـ التناسل وعلم الأجنة

اذا وضعنا جانباً البكتيريا التي لا تعرف الجنس ، وبعض انماط التناسل اللاجنسي (المتناوب في اغلب الاحيان مع ظاهرات اخصاب في الاجيال المتعاقبة) ، يعتبر اتصال الخلايا الجنسية [غاميت: خلية اخصابية ذكرية أو انثوية لا تحتوي نواتها الا على عدد واحد n من الكروموزومات في حين تحتوي بقية الخلايا على عدد مزدوج 2n] (التي احدها ابوي والآخر اموي) هو التفاعلية الاساسية التي تولد فرداً جديداً . ان القرن التاسع عشر قد حقق تقدماً اساسياً في ظاهرات التوالد . وفهمنا يعود بتاريخه الى المرحلة الحاسمة حيث قام مؤلفون مختلفون (تورية Thuret عند الفوقس ، 1868 ؛ هرتويغ بالنسبة الى التوتياء ، 1875 ؛ أ . فان بندن Benden بالنسبة الى الاسكاريس أو الصفر ، 1883) بملاحظة عملية الاخصاب بالذات . وبعد ذلك بقليل تم اكتشاف الاستعداد الزواجي الأساسي الذي هو تخفيض صبغي (كروماتي) (ج . اوفرتون ، 1893 ؛ وج . ب . فارمر 1894) ؛ ان كلمة مايوز (الانقسام المنصف لدى الخلايا) أدرجت سنة 1905 على يد فارمر وج . أ . مور . وهذه النتائج (مجلد III) ادخلت التناسل في اطار العقيدة الخلوية .

---

(1) إن بيولوجيا النباتات ستدرس في الفصل VII من هذا القسم ، في حين أنّ بيولوجيا اللافقريات ستُحلّل في الفقرتين VI وVII من الفصل III من هذا القسم . فضلاً عن ذلك فإنّ الكثير من مظاهر الفيزيولوجيا البشرية ستُعالج بمعرض المداخلات الطبية في القسم الخامس من الكتاب .

الخلايا الجنسية ـ بخلال السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر اعتبر آ . وايزمان Weismann الخلايا الجرثومية وكأنها تشكل سلالة مميزة مختلفة عن انسجة الفرد (مجلد III) .

وهكذا فصل ، بشكل قاطع النطفة أوالجرثومة عن السوما . وهذه النظرية تلقت في القرن العشرين اثباتات مشهودة .

وارتكزت هذه التأكيدات المشهودة على إبكار التتبع ـ في النطفة المتطورة ـ بالنسبة الى ميدان الخلايا المستقبلية الجنسية . وعندما يُقضى على هذا الميدان تجريبياً ، في بداية تطور الكائن الجنيني ، فان الفرد يصبح فيما بعد محروماً من الخلايا الاخصابية : وقد ثبت ذلك في التشعيع المسلط على الطيور .

والاهمية العقائدية في هذه الثنائية الاساسية في السوما [خلية لا تنقل الوراثة] وفي النطفات [وهي خلايا ناقلة للوراثة] ، لها انعكاسات مهمة في مجال الوراثة . وحدها التغيرات في الجينات الموجودة في النطفة هي التي تتأبد وتشكل الانتقال ؛ في حين ان تكيفات الفرد مع الظروف المحيطة الخاصة ، والتي هي تبدن فردي ، تزول معه .

وتبدو النطفة وكأنها خالدة ، اما السوما فهي زائلة . ولكن وقائع مخالفة رصدت عند بعض اللافقريات قد اعادت طرح المسألة التي كانت تعتبر وكأنها مبتوتة .

ان تشكل الخلايا الجنسية ، والنقص التلويني ، وهما موضوعان من الدراسات الخلوية المميزة ، قد حللا عند العديد من الانواع . فقد استبدلت الرسيمة الاساسية ـ التي كانت تركز العنصر الاول النموذجي ، وفيها يبدو التقسيم الاول فقط غير طبيعي ـ بمفهوم الرباعية حوالي سنة 1910 : فتزويج الكروموزومات المتماثلة ، متبوعاً بتشققها ، يشكل طوراً من اطوار الانقسام في الخلية ، في التقسيم الاول لمثل هذه المجموعات التي تفترق وتتوزع بين اربع خلايا حفيدة .

ان تفارق الخلايا الجنسية قدم مادة مهمة من اجل تحولات الاعضاء الصغيرة في الخلايا وخاصة ظهور السوط اثناء ولادة المني ، ومن اجل مراقبة نشأة المح في البريضة . ان الحوين المنوي كان من الخلايا الاولى التي تم فحصها بالميكروسكوب الالكتروني . وقد تبين عندئذ (ج . ت . راندال ، وم . هـ . ج . فريدلاندر Friedlaender, 1950 الخ) ان التشابه والتماثل الظاهر في ذنبه يخفي وجود الياف عددها 9 .

ان ظروف حياة الغاميت (الامشاج أو الخلايا الناضجة) قد توضحت .

ان الحيوانات المنوية تتميز بأيض زاخم ، مخصص لتغطية صرف الطاقة الناتج عن تحركها . وتركيب البلاسما المنوية قد تحدد . وتفحّص تأثير الوسط على الحركة ، والقدرة الاخصابية في الخلايا الجنسية المقذوفة قد وجد تطبيقات له ، سواء فيما خص تضعيف الحيوان المنوي كما وجد تطبيقاً له ايضاً في تقنية الحبل الاصطناعي . ان بعض العوامل الفيزيائية (أشعة X ، الاشعاعات الذرية) أو الكيميائية يمكن ان تحدث اعطاباً تشويهياً اثناء نمو الجنين فيما بعد .

الاخصاب او الالقاح - ان مراقبة الاخصاب قد تحققت عند الثدييات قبل 1900 . فالتقاء الغاميت او الخلايا الناضجة قد تم ضمن انبوب قناة فالوب . وقد بذل جهد للحصول على الظاهرة داخل المختبر ، وقد امكن تصويرها فوتوغرافياً من وقت قريب . ويشير بعض المؤلفين الى نجاحهم في اجراء الحمل او التخصيب خارج جسد الانسان .

ان الاواليات التي تسود عملية اقتراب البويضة من الحيوان المنوي تعزى الى عمليات ميل كيميائية . في سنة 1912 لاحظ ليلي Lillie ، لدى نيريس ، الجذب الذي يحدثه على النطف ، ماء البحر الذي مكثت فيه بويضات من ذات النوع . واطلق اسم مخصب (fertilisine) على المادة التي تنبعث من الخلية الانثى والتي تتمتع بمثل هذه القدرات . فضلاً عن ذلك تتدخل عدة مبادىء في هذه الظاهرات ، وهي لا تختلف ظاهراً عن المبادىء المكتشفة في علم المناعة . ان الاخصاب يقترن بتغيرات في النفوذية المبيضية ، كما يقترن بتنشيط في التنفس . ونجاحه مرهون بالحالة الفيزيائية - الكيميائية السائدة في الوسط المحيط الذي يجب ان تتوفر فيه الحدود المطلوبة .

ما قدمه التوالد العذري التجريبي - ان المشكلة الرئيسة هي معرفة الاسباب التي تتحكم في اطلاق عملية تطور الكائن الفرد . ويقول آخر ما هي القوة الكامنة في الحيوان المنوي حتى يجلب البويضة من سباتها ؟ منذ القرن التاسع عشر ، بذلت جهود من اجل استبدال الحيوان المنوي بعوامل فيزيائية أو كيميائية .

وقد سجلت تجربة ج . لوب Loeb سنة 1899 الشهيرة اول نجاح في مجال الاخصاب التجريبي . وفي سنة 1906 اعلن لوب عن طريقة جديدة اكثر فعالية . واستنتج ان الاخصاب تعمل فيه اواليات كيميائية ، وانه يجدر فيه التمييز بين مرحلتين اساسيتين من مراحل التفاعليات هما : تنشيط البويضة بحيث تزداد قابليتها ويزداد اخذها للاوكسجين ، ثم عملية الضبط الحراري الذي يطلق عملية تطور الكائن المنوي . وقد توجهت البحوث اللاحقة التي قام بها ي . دولاج Delage وم . غولد سميث سنة 1913 نحو تغير ايقاعي في النظام الغروي داخل البويضة العذراء .

ان اعمال أ . باتايون قد امتدت طيلة خمس وثلاثين سنة وقد تناولت الضفدعيات ؛ وقدمت مساهمات مهمة في فهم أوالية التوالد العذري .

فالسلسلة الاولى من التجارب بين 1900 و 1910 درست تأثير الضغط الامتصاصي ، وتأثير الحرارة والبرد ، وتأثير الاشباع والالقاح المتغاير ، ولم تؤدِّ الا الى تطور اجهاضي . واستلهمت السلسلة الثانية الاخصاب الحاصل بين انواع مختلفة ، وخلالها بدا ان الحيوان المنوي يلعب دوراً ميكانيكياً فقط . واستبدل باتايون الخلية الذكرية بابرة دقيقة من الزجاج أو من البلاتين ، فلاحظ ان البويضات قد نشطت . ولكن التفلّق كان اجهاضياً . ونجح في حملها على النمو عندما لوثها بالدم او عندما طعمها بالكروماتين أو الصبغين . وبعد 1930 بين باتايون ان العوامل المنشطة هي ذاتها لدى اللاذيليات والتوتياء ، وان التوازي ايضاً يشمل الظاهرات الخلوية التطورية .

وقد شارك العديد من البيولوجيين في تطوير البحوث (ج . لوب ، وهـ . فوس Voss ، وج . روستان Rostand الخ) . ان التوالد العذري قد حصل في طبقات حيوانية متنوعة . ففي

الثدييات امكن استحداثه بتأثيرات حرارية . وفي سنة 1939 حصل ج . بينكوس Pincus على نمو عذري في بويضة الارنب . ولكن هذه التجارب التي تفتح افاقاً واسعة جداً ، ليست الا في بدايتها .

وتحليل الاخصاب قد عولج بطرق اخرى . فالتلاقي بين الانواع المتميزة يفسح في المجال امام سلسلة من التفاعلات التي تنطلق من مجرد التنشيط الى ضبط الحرارة الى الاخصاب الاثنيني . ان استبعاد الكروماتين الابوي الغريب عن النوع استبعاداً كاملاً هو وحده الذي يتيح عملية نمو الفرد .

ان الخلائط الغاميتية (الامشاجية) الباتولوجية اي المرضية تشكل طريقة اخرى في الاستقصاء . فتشعيع الحيوانات المنوية يقدم معطيات تشبه الوقائع السابقة . والنمو يحصل عندما يعطب « مرض الراديوم » النواة الذكرية الى درجة تعطيل الاخصاب وعندها يحدث توالد عذري حقيقي . وهناك اوجه اخرى من المسألة قد عولجت . فقد تقرر ان ادخال نطفة واحدة في عملية الاخصاب الطبيعي ، يتعلق بتحول البلاسما الخلوية المحيطية من البيضة عند عملية التنشيط . ونضج الخلية الانثوية ضروري للاخصاب .

وهكذا نزع التجريب ، حيث فصل وفكك عمليات انتقال الحياة بواسطة الافراد ، كل سمة ميتافزيقية لهذه الظاهرة . ومثل هذه المكتسبات ليس لها مجرد اهمية فلسفية . فهي تحسين قدرتنا حين تدعم ممارستنا وتؤسسها على قواعد عقلانية . وقد قامت محاولات تخصيب اصطناعي منذ زمن بعيد . ويمكن اليوم اجراء الزرع بمحض الارادة في الثدييات ، بواسطة ذكور مخصبة تقع على مسافات بعيدة . وهذا الاسلوب يتيح بفضل انتقاء الاهل أو الابوين استحداث إنسال على يد المنشئين .

علم الاجنة ـ ان هذا العلم قد ازدهر فعلاً بعد ان قرر ك . ف . وولف في القرن الثامن عشر بان تطور الكائن الفرد يقوم على خلق لبنيات انطلاقاً من بيضة مخصبة لم تكن هذه البنيات مكونة فيها من قبل . وقد اقام القرن التاسع عشر بصورة تدريجية علم الاجنة التجريبي (مجلد III) .

ان عقيدة الوريقات التي وضعها ك . أ . فون باير Baer ، وهي مكتسب رئيسي ، تُستخدم كاساس لعلم الانسجة . وقد تناولت الدراسات شرائح تسلسلية فحصت في الميكروسكوب البصري . وابرز علم الاجنة المقارن السمات العامة وقدم براهين على الاطروحة التحولية . ولكن علم الاجنة التشكلي حقق أيضاً بعض التقدم وقدم بشكل خاص عناصر جديدة تتعلق بالنوع البشري .

في بداية القرن العشرين كانت النطفة البشرية الأصغر سناً التي عرفت ، وقد وصفها بيترس Peters ، يبلغ عمرها اربعة عشر يوماً . وسوف نقوم بوصف مراحل اقل تقدماً : مرحلة ت . برايس Bryce وج . هـ . تيتشر Teacher (1908) : 14 يوماً ؛ ومرحلة ميللر Miller (1926) وعمرها 11 يوماً وقد درسها ستريتر Streeter . ان التقدم في علم الغدد التناسلية الانثوية حدد نقط ارتكاز تسلسلية

تاريخية منها : لحظة البيض وسط المسافة بين حيضين ثم المهل القصيرة التكوينية التي خلالها يجب ان يتم الاخصاب . في سنة 1942 اشار آ . ت . هرتيغ وج . روك الى خلية جذعية أو بويضة عمرها سبعة أيام ونصف ، في مرحلة الزرع ؛ والثلمة التي حفرت في غشاء الرحم نتيجة الولوج البويضي لم تكن بعد قد تسكرت . واشار هذان العالمان بعدها الى مراحل التشقق ، واعادا تكوين فيلم العمليات بخلال الاسبوع الاول ، الذي يتطابق مع مرحلة الهجرة الانبوبية ، ثم مرحلة التحرر ضمن الضوء الرحمي ».

والاكتشاف الكبير الآخر في مجال علم التشكل الجنيني هو تحليل مرحلة النمو لدى الفقريات بواسطة طريقة العلامات التلوينية الحيوية .

ان بعض بويضات الاسيديات تدل على التربة الملونة تلويناً طبيعياً ، مما يتيح تتبع مصيرها بسهولة . وفي سنة 1925 استلهم فوغت Vogt من هذا الاستعداد ونجح في وشم بويضات برمائيات انما دون ان يغير في مصيرها : وفيما بعد استعملت الطريقة في الاسماك وفي الزواحف وفي الطيور . وكشفت النتائج حركية الظاهرات النطفية . ورقبت الهجرات الخلوية المؤدية الى تركيز الوريقات في امكنتها ، هجرات تعتبر « كتلات مناورة » حقيقية .

وامكن التوصل أيضاً ، فوق سطح البلاستولا والمضغة ، وقبل بدء عمليات التنقل ، إلى وسم خارطة الامكنة المتوقعة التي يُعرف مصيرها الطبيعي مسبقاً . وبفضل هذه التقنية زال التميز بين (عملية) النمو الجنيني ، بواسطة الانغماد ، وعملية النمو وفقاً للخط البدائي : فرق بسيط في التوبوغرافيا اي في رسم الخارطات ، وفي تحديد التواريخ لتموكز الوريقات .

ومنذ نهاية القرن التاسع عشر احتل الاهتمام التجريبي محل العمل الوصفي الذي كان قد بلغ منتهاه . ومن اجل فهم تتالي النمو ، ومن اجل معرفة العواصل المسؤولة عن ولادة الشكل ، بذلت جهود من اجل تخريب أو ارباك الاسباب ثم تحليل الاثار الناتجة عن ذلك . ويعتبر و . رو Roux مؤسس علم الأجنة التجريبي أو علم الأجنة السببي (مجلد III) . وجرت تخريبات بواسطة الوخز أو بواسطة فصل الخلايا الام (بلاستومير) من قبل رو سنة 1885 ومن قبل ل . شابري سنة 1886 ومن قبل هـ . دريش Driesch بين 1891 و1906 ومن قبل آ . هرليتزكا Herlitzka سنة 1896 .| وعندها صنفت البويضات بحسب ما اذا كانت موحدة الخواص (ايزوتروب) أو غير موحدة الخواص (انيزوتروب) (ان المظاهر الرئيسية لعلم الاجنة لدى اللافقريات يتناولها آ . تيتري ، الفقرة VI ، الفصل III من هذا القسم) .

ان البويضات ذات الهيولة الايزوتروبية يمكن فيها تصحيح كل تشويه من قبل القسم الباقي . والقدرات الشاملة للتربات فيها أعلى من صيرورتها الطبيعية . اما البويضات غير موحّدة الخواص فمادتها تتألف من فسيفساء من الطاقات وكل تشويه فيها لا يمكن اصلاحه . ان الطاقات الشاملة في النطفة متشابهة ومماثلة للطاقات الحقيقية .

والبيوض غير موحدة الخواص هي التي جرُت أ . ب . ولسون سنة 1904 الى فكرة الموضعة النطفية ، وهي فكرة اثبتتها تجربة جرت على رخوية هي المسننة (دانتال) . وعند البرمائيات ،

اوضحت بحوث أطلقها مورغان سنة 1897 ، ورو سنة 1903 وج . و . جنكنسون سنة 1907 ، المناطق التي إذا أصابها التشويه فلا تصحيح لها والمناطق التي يمكن تصحيح الخراب فيها (أ . براشيه Brachet, 1905-1923) .

ان القدرة على تنظيم الحرارة بعد عدوان هي ميزة البيضات الايزوتروبية اي الموحدة الخواص . وهذه القدرة في مختلف الانواع ، بدت وكأنها صفة عامة في النطف ، وتضيع بصورة باكرة بحسب انماط البيضات .

لدى التوتياء تعطي البويضة الام (بلاستومير) ، المفصولة بخلال المراحل الاولى كائناً كاملاً (هـ . دريش ، 1891) . وقد امكن ، ضمن نفس المجموعة ، صنع نطف أو أجنة متنوعة التركيب ، وذلك بلحم اجزاء معزولة . وكان الشرط المطلوب الوحيد للنجاح هو احترام النسب بين التربة الحيوانية والتربة الانباتية . وافضل من ذلك ايضاً ، ان التحام بيضتين يؤدي الى ادخال عناصر كل منها في الفرد العملاق الذي لا شيء يذكر بثنائية اصله .

ولدى الطيور استطاع آ. وولف وهـ . لوتز Lutz في الفترة 1945-1948 ان يشقا النطفة الى نصفين ، وان يحصلا على مسخين مزدوجين أو توائم ، بحسب ما اذا كان التقطيع جزئياً أو شاملاً . وقد امكن ايضاً الحصول على اربعة اجنة انطلاقاً من بيضة واحدة . وبالنسبة الى الثدييات ان فصل البويضتين (بلاستومير) الاوليين عند الفأر ادى الى تطورين فرديين كاملين ؛ وهذا يوضح عملية التوأمة الحقة . فضلاً عن ذلك ان تعدد الاجنة العفوي ، أو تشكل عدة اجنة من بيضة واحدة معروف تماماً بخاصة عند الحيوانات الدرعاء (تاتو) (نيومان وباترسون ، 1910) .

والاكتشاف الذي كان له اثر ضخم جداً هو اكتشاف واقعة التبدل المستمر بدءاً من التخلق الجنيني ، بتأثير من « المنظمين » . والتجربة الاساسية حول هذا الموضوع حققها هـ . سبيمان سنة 1921 . فقد اقتلع المشفر من ثقب آخر الامعاء في النطفة لدى برمائي ما ، عند بداية تكون الجنين ، وزرع هذا المشفر على مستوى الجانب المعلوي من حيوان مجانس في نفس المرحلة . ورأى عند هذا الاخير ظهور سلسلتين من التشكلات الظهرية المميزة : انبوب عصبي ، حبل شوكي ، اعضاء لا تنقل الوراثة . والسلسلة الواقعة في موقعها الطبيعي تتوافق مع النمو الطبيعي . اما السلسلة الاخرى الاضافية أو الزائدة ، فقد تولدت عند مستوى الزرع أو التطعيم ، والبناءات الجديدة تتخلق انطلاقاً من الجزء المدخل بصورة اصطناعية . والتربة التي تتمتع بمثل هذه القدرة على التخليق العضوي تسمى « منظم » . وتدخله ، الذي سلم به آ . غورفيتش Gurwitsch سنة 1922 وب . ويس Weiss سنة 1923 ، قد ثبت في كل سلسلة الفقريات .

وهذا المنظم يتمركز عند المشفر الظهري في طرف الثقب الأصلي ، عندما تتم بداية التكوين الجنيني ، بواسطة الانغماد . وهو يتمثل بالخط الاولي عند الطيور . ولا تظهر اية خصوصية حيوانية في عمليات زرع تتم بين البرمائيات والطيور . وقد اعاد ج . هولت فريتر تلميذ سبيمان الظاهرة في المختبر : ان النسيج الظهري يحدد ظهور انبوب عصبي على حساب طبقة مضغية عادية .

ولقد جرت محاولة لربط هذه الطاقة بمواد كيميائية متنوعة ومنها ما يستحق الذكر : مواد سكرية ذات بروتين نووي تجمع الى مجموعات سولفيدريلية .

ان « المنظم » المشيجي ، أو « المنظم » الاولي ، ليس هو الوحيد الذي يحفز عملية التخلق المتميز فقد امكن العثور على مناطق في النطفة تتحكم ، اثناء المراحل اللاحقة بالاختلافات المحدودة اكثر . وقد سبق لسبيمان ان اشار سنة 1901 الى القمع البصري المنبثق عن مجمل الدماغ والمخصص لحدوث الشبكية ، وهو يعطي او يولد البؤبؤ . والامر هنا يتعلق بمنظم ثانوي . ان عملية التخلق الفردي تبدو هنا محكومة بسلاسل من التبدلات .

وقد جهد علماء اجنة آخرون في دمج هذه الوقائع ضمن مفهوم اعم هو مفهوم تناقص التركيز الذي قال به ك . م . شايلد Child سنة 1915 . هذه الفرضية تخصص ترتيباً تسلسلياً لمناطق النطفة (كما تفعل بالنسبة الى الراشد) وكل تربة أو منطقة تتحكم بما يليها وترتبط بما يسبقها . وفكرة الحقل (ج . س . موكسلي ، 1932) تبدو اعم ، لأن الأثر لا يقتصر هنا على اتجاه محوري متناقص بل يشع في كل الاتجاهات انطلاقاً من مركز معين . ان « المنظم » يجب ان يشبه بحقل تناقصي . وفيما بعد كشف في البيضة على حقل قشري وعلى حقل انباتي .

وهناك مفهوم اعم ايضاً هو مفهوم الطاقة التي تولد الاشكال والتي تستبدل التغير النوعي بمميزات كمية خالصة . وتسند الوقائع الدقيقة هذا المفهوم .

وهكذا نعرف ان المضغة الوسيطة تحتوي ، من قسمها الظهري الى المنطقة البطنية ، ثلاث مناطق : السوميت ، والقطع الوسيطة التي تعطي فيما بعد الكليتين ، ثم الشفرة الجانبية . واذا زرعت جنباً الى جنب السوميت والشفرة الجانبية نرى تكون قطعة وسيطة بينهما . ومن جهة اخرى قد يرفع تدخل المواد الكيميائية أو قد يخفض زخم التربة : في الحالة الاولى يقال : هناك « حيوانية » ؛ وفي الحالة الثانية هناك « نبتية » . وكذلك تحدث الاشعاعات اضطرابات في النمو ، وذلك بتخفيض مستوى التراتيات . من المحتمل ان الكيمياء سوف توضح يوماً ما معنى هذه المفاهيم .

وبالانتقال الى مراتب اكثر تأخراً ، نلامس مسألة التفريق بين الانسجة والاعضاء تفريقاً يتحقق على الصعيد البنيوي والوظيفي .

هناك فروقات خلوية هي نتيجة الاستعداد الكامل في العناصر التي تتفرع منها : من ذلك حالة العضلة القلبية ، التي تنمو في المختبر وتأخذ في الخفقان ، عندما يزرع النسيج الملحمي المنبثق عن هذه العضلة . وبالمقابل ان مصير الانسجة اللاحمة يخضع تماماً للشروط المحيطة التي تنمطها بصورة ميكانيكية . وامكانية التأثير في جنس المجاري التناسلية ، حتى في الغدة التناسلية ، هو مثل فخم للدلالة على التفريق المحدث .

ان الحياة « المبدعة للاشكال » ليست الاهتمام الوحيد في علم الاجنة التجريبي . وهناك طريق فتح حديثاً هو طريق استكشاف فيزيولوجيا الجنين اي المسار العضوي ، وتناسقاته الانتظامية .

ان دورة الدم ، قد أمكن تتبعها بالتصوير الاشعاعي بواسطة مواد كثيفة . ويوجد العديد من المسائل قيد الدرس تتعلق بموضوع التغذية ، والافرازات ، والنشاط العصبي . وقد علم ان قطع الرأس لا يوقف حركة النمو ، بشرط اجراء التربيطات الوعائية الضرورية . وانه في مجال الافرازات الداخلية ، بشكل خاص ، كان التقدم والانجاز مهماً ومفيداً . ان بعض المعطيات تتعلق ببدء نشاط الغدة النخامية الورائية ، وبالغدة الدرقية ، والغدد الدرقية الجانبية ، والتشكلات التناسلية الصمائية الداخلية . هل الهرمونات المفروزة هي ذاتها هرمونات البالغ ؟ المسألة تطرح بالنسبة الى العناصر المسؤولة عن التفريق الجنسي ، كما تطرح بشأن افرازات لب الكظر ، فوق الكلية .

ويهتم علم الاجنة الكيميائي بتوضيح توزيع مختلف المواد داخل البويضة بخلال مختلف مراحل النمو ، وطبيعة وزخم العمليات الايضية (ك . لندرستروم ـ لانغ Linderstrom- Lang، ود. غليك Glick) ، وظهور الانزيمات التي تبدو ضرورية في عملية الاستعضاء أو تولد الاعضاء .

ان هذه الدراسة التي بوشر بها حوالي سنة 1930 ، من قبل مدرسة ج . نيدهام ، وك . هـ . وادينغتون ، ود . م . نيدهام في كمبريدج ، وكذلك من قبل ف . ج . فيشر وأ . فهمايـر Wehmeier ، وج . هولتفريتر وو . م . نوينسكي Nowinski الخ . ، قد نمت في العديد من البلدان . ويبدو ثابتاً ان الاختلاف الخلقي الكامن في المناطق المختلفة داخل البويضة بشكل فسيفساء ، يتأتى عن الاختلاف في تكوينها الكيميائي . في الوقت الحاضر يتركز الانتباه على الانسجة الخلوية البلاسمية ، التي يسهل التقاطها بسبب تلون ركيزتها : ويمكن الظن اذاً ان هناك بدايات مفترضة الوجود كيميائياً ، في بادىء الأمر ؛ وهذا التفريق الكيميائي يتحكم بالخصوصية الشكلانية والوظيفية اللاحقة في العناصر النسيجية المشتقة .

التوليد الامساخي التجريبي ـ هناك وجهة نظر أخرى تقوم على محاولة استحداث تشويهات مسوخية « عشوائية » . ومن بين التجارب الكثيرة التي حققت في هذا المجال نذكر التجارب التي قام بها أ . وولف ، سنة 1936 .

استوحيت هذه التجارب من فرضية ي . جوفروا سان ـ هيلير Geoffroy Saint - Hilaire التي تقول ان الاضطراب الاساسي يعزى الى توقف النمو الموضعي ، وقد استخدمت ريشة رفيعة من اشعة X ، من اجل تحديد موضع الاصابة ضمن منطقة محددة داخل نطفة . وفي اجنة الفراخ من سن معين امكن استحداث كل التشويهات المسوخية الطبيعية . وقد اتاحت هذه التجارب توضيح قوانين التخلق الفردي الطبيعية بصورة جزئية .

وهناك اسلوب آخر في التوليد المسوخي قائم على المواد الكيميائية مثل الكولشيسين والريسين والتريبا فلافين ، الخ . وهكذا امكن استحداث العديد من التشويهات . ان تدخل عنصر محدد في لحظة محددة يؤدي الى تشويه محدد .

والقضية في كل هذه الاكتشافات تقوم على انتاج مسوخ بسيطة . والواقع ان المسوخ المزدوجة هي توائم غير منفصلة بصورة كاملة . وهناك مظهر مختلف لتخليق التشويهات ، ويتعلق

في الثديات بالاضطرابات التي تصيب الام اثناء الحمل .

ان هذه « الامراض الجنينية » ذات المنشأ الأمومي تقدم فائدة كبيرة للجنس البشري ، لانها صورة طبق الاصل ، في اغلب الاحيان عن التشوهات الوراثية ؛ ولكنها لا تنتقل الى الذرية لأنها لا تصيب المجموعة الارثية . ان بعض الامراض المعدية الامومية ، وبعض التجاوزات الفيتامينية ، وبعض القصور الغذائي من خلال الحمل يمكن ان تعيق التخلق الجنيني في النطف الموجودة في الرحم .

II ـ الفروقات الجسدية

على صعيد الفرد تبدو الحياة ذات تنوع شديد ، سواء نظرنا بصورة اجمالية الى اجسام الميتازوير (اي متعددات الخلايا) ، والميتافيت (اي متعددة الناميات المرضية) أو عندما تحلل العناصر الخلوية التي تشكلها .

وفي مجال البيولوجيا الحيوانية أو علم الاحياء الحيواني كان القرن التاسع عشر عصر التشريح المقارن .وفيه أيضاً تأسست الاناتوميا العامة ، أو التشريح ، القائمة على فكرة الانسجة ؛ ان هذه الانسجة تتكون من خلايا ذات بنية واحدة . وانطلاقاً من هذه الاسس الركيزة ، فقد اتسعت اهتماماتنا بشكل فريد . ان الفروقات قد حللت ايضاً من الزوايا فوق البنيوية ومن الزوايا الاحيائية والفيزيولوجية أو الوظيفية

وفي حين حاول علم فيزيولوجيا الانسجة تحديد التخصص الفيزيولوجي المرتبط بالخصوصية الشكلانية ، درست الشكلانية او علم الشكل التجريبي سبب الفروقات البنيوية . ان لدونة وليونة الاجسام النباتية قد اتاحت التعرّف بسهولة على اثر العوامل الخارجية في عملية التشكل أو المورفولوجيا . ان الاثار حول البنيات تبدو تابعة بالنسبة الى تغيرات في عملية الايض . والتحولات المحدثة لا تنتقل بالوراثة . وهي لا تصيب الا الفرد . وفي مجال علم الانسجة الحيوانية يبدو دور الهرمونات في توليد الاشكال واضحاً وبارزاً .

وبفضل هذه الانجازات في البيولوجيا الخلوية الخاصة ، يمكن النظر الى كل تفريق ، من الزاوية الرباعية المتعلقة بالشكل ، وبالوظيفة ، وبالتكون ، وبالتوضيب أو التجهيز . ونقدم على ذلك بعض الامثلة المأخوذة في اغلب الاحيان من الفقريات وخاصة من الثدييات .

النسيج الملحمي ـ ان المواد بين الخلايا في النسيج الملحمي ، تؤخذ كما هو معلوم ، من مادة هيولية (أو مادة اساسية) ومن خيوط أو الياف (مولدة للهلام ، مطاطية شبكية) . وعرف في القرن العشرين ان الهيولة تتألف من مادة مخاطية متعددة انواع السكريات . وهناك انزيم يكثف هذه الخلايا الكبرى ويجرّ وراءه ميوعة متزايدة تتيح الانتشار المكروبي (عامل الانتشار الذي قال به دوران ـ رينالس Duran-Reynals سنة 1928) .

ان الخيوط المكونة للهلام الميكروسكوبية تتألف من الياف متناهية طولية تظهر ذات تحزيزات عرضية مع وجود فراغات بينها تقارب 640 Å بين الضمائم (شميت ومعاونوه ،

1948-1942) . وظهور الالياف المولدة للهلام ظهرت في المختبر الالكتروني ، وكأنها تتم عند حد الخلية النسيجية في البلاسمات الصغيرة الفتية ، بشكل الياف متناهية الصغر ، ذات تحزيز اكثر تراصاً (پورتر ، 1952) . وهذه الملاحظة المحققة اقفلت النقاش الذي كان قائماً ، منذ ظهور القرابة الخلوية ، بين انصار افراز الميتابلاسما وبين انصار النظرية القائلة بالنشوء خارج البلاسما ، وبين الذين يقولون باستقلالية الخلايا عن المادة الموجودة بينها .

واخيراً تم التثبت من التأثيرات التي من شأنها ان تُمارس على الانسجة الملحمية . فالإفقار الاوكسيجيني القشروي (ديزوكسي ـ كورتيكو ـ ستيرون) يؤدي الى ورم ليفي . في حين ان للكورتيزون اثراً مفيداً ولذلك يستعمل في معالجة الروماتيزم المفصلي .

الانسجة العظمية ـ ان النسيج العظمي هو تمايز خاص من النسيج الملحمي . والمادة الركيزية فيه وهي المخاطية السكرية قد تلقت رسوبات من الاملاح الفوسفورية الكلسية . ان هذا الملح العظمي هو مكون هيدروجيني اوكسيجيني وله بنية بلورية قد توضحت تماماً .

والاعمال المتتالية منذ اربعين سنة ونيف (ليريش Leriche وپوليكارد Policard 1926 ؛ وج . روش J. Roche وداليمانيه Dallemagne ، ولاكروا Lacroix ، بعد 1940) قد عرّفت بالتفاعليات البيوكيميائية في عملية التعظم . والمهاد البروتيني الاساسي الذي يتطلب وجود الفيتامين C ووجود الغليكوجين ، يجذب الاملاح الفوسفورية الكلسية . وتقتضي التغذية المعدنية تقديماً غذائياً متوازناً يتدخل فيه الفيتامين دال ، كما يقتضي الوجود المحلي لمادة الفوسفاتاز . ان حياة النسيج العظمي تقوم على تغيرات كيميائية وبنيوية لا تتوقف . وتؤمن الضوابط الغددية الصمائية الدقيقة تماثل اعادة البناء . فإذا نقص عامل ما تفتت العظم . وهكذا تتحكم الغدة الدرقية الهامشية في معدل التكلّس والفسفرة . ونشاط هذه الغدة المفرط يؤدي الى ارتفاع بلاسماوي في الكالسيوم على حساب العظام التي تصبح هشة . ويحدد الاوستروجين أو هرمون الاخصاب عند المرأة افراطاً في التلكس (بينوا Benoit وكلافير 1941-1946) .

الخلايا الملحمية ـ في سنة 1906 حلّل رينو ودوبريل عملية تشكل العناصر المتدخلة في حالة الاثارة النسيجية . وتمّ توضيح العلاقة بين الخلايا الملحمية والدموية ، وقام علماء فيزيولوجيا الانسجة بتأسيس فكرة النظام الشبكي دخل هذا المفهوم كحالة خاصة في عملية البلعمة أو الابتلاع (فاغوسيتوز) التي تم اكتشافها من قبل ميتشنيكوف سنة 1882 . ومن سنة 1904 حتى سنة 1914 قام العديد من المؤلفين بوصف عملية الابتلاع القصوى التي تجري على جزئيات غروية لا متناهية الصغر اي لا يدركها المجهر . وبدت الظاهرة خصوصية ذاتية : فالخلايا نفسها هي التي تمثل الظاهرة دائماً : وخاصة الخلايا الملحمية الفتية وخلايا نسيج الاعضاء مثل الكبد ولب العظم (الاعضاء اللموية) . ان هذا النظام الشبكي البيطاني كما يسميه كاشوف Kaschoff (1914) له حدود متحركة : وتكرار الزرقات الغروية في جسم ما يؤدي الى وشم الخلايا التي لم تعرض حتى ذلك الحين عمليات ابتلاعية متفوقة . وامكن التوصل الى وصف نظام محصور تظهر فيه السمة منذ الجرعات الاولى ، نظام واسع ونظام اقصى ، ثم اخيراً اعماله . ان الانسجة الخلوية

الاحتياطية ، وهي عناصر متنوّعة في النظام الذي يسمى اليوم النظام الشبكي النسيجي، هي من الفئات الملحمية والدموية القليلة الإختلاف ، المزودة بخصائص دفاعية وتنشيطية للدم . وكشفت البحوث الحديثة بان العناصر العضلية المخططة المزروعة هي مع وجود الكولين [مادة ازوتية] تكتسب استعدادات مميزة للنظام .

الكريات الحمر (هيماسي) ـ لقد تم توضيح التركيب الخلوي للدم بخلال القرن التاسع عشر . ان مختلف انواع الكريات البيضاء قد وصف ، كما تم اكتشاف الصفائح . وقد توصل العلماء إلى تعداذ الكريات الحمر والكريات البيض الموجودة في ملم مكعب من الدم ، كما توصلوا إلى تحديد النسبة المئوية في العديد من الكريضات (ك ڤيروردت Vierordt 1852 ؛ ل . ك . مالاسيز Malassez 1872 ؛ ايهرليخ ، 1879، 1890) . ان ولادة السلالة الحمراء انطلاقاً من خلية لب العظم لم تعد موضع نقاش . ولكن ولادة الكريات البيضاء ما تزال غامضة .

في القرن العشرين حللت هذه العناصر المتنوعة من الناحية البنيوية والوظيفية . وتنظيم الخلية الحمراء قد درس حديثاً بواسطة المجهر الالكتروني ، في حين ان سماكة الغشاء البلاسمي قد قيست بواسطة وسائل فيزيائية كيميائية . وتم توضيح الحالة البلورية في الهيموغلوبين وفي البروتين الخلوي الحديدي . في سنة 1929 اوضح هـ . فيشر التركيب وحقق توليف واحدٍ من مكوناتها الاساسية وهو الهيمين اي المادة المتبلرة في الدم . ان البنية ذات الابعاد الثلاثة التي للهيموغلوبين قد اكتشفت حديثاً من قبل ج . ك . كندرو Kendrew ، وم . ف . پيروتز Perutz ، بفضل تحسين تقنية انحراف اشعة اكس . وتم ايضاً توضيح التوليد الاحيائي [من خلية الى خلية] ، ومصير الخلية وتحولها الى صيغات صفراوية . وتم اكتشاف انواع مختلفة من الهيموغلوبين ؛ وهي خصوصية ذاتية في بعض الانماط الحيوانية .

فئات الدم وعامل ريزوس ـ هناك مكتسبات مهمة ترتبط بمجال مناعة الدم التي من دلالتها الاساسية مفهوم فئة الدم . لقد اوضح ج . بورديه التغرية أو التلاحم بين الكرويات الحمراء بالنسبة الى جنس ما بفضل المصل الموجود في جنس آخر (وهو التلازن المتباين ، 1895) . في سنة 1900 اكتشف ك . لندشتينر Landsteiner التخثر الذاتي ، وهو ظاهرة مماثلة تحدث في اطار نفس الجنس .

وقد لاحظ ك . لندشيتنر أنّ الامصال، عند البعض من معاونيه ، تُخثر الكرويات الحمراء عند رجالٍ آخرين ، فاوضح المخثِّرين الرئيسيين A و B اللذين يؤدي التقاؤهما مع المضادات الراصة المطابقة α و β الى اثارة التخثير أوالتلاحم . هذه اللعبة بين المتضادات تفسر الحوادث التي تجري عند عمليات نقل الدم والملحوظة منذ عدة قرون . اضاف جانسكي Jansky سنة 1907 وموس سنة 1910 إلى الفئات الثلاث للدم وهي A, B, O ، الفئة AB . وهكذا تمت معرفة أربع فئات دموية عند الإنسان ، سميت بحسب طبيعة المولدات التخثيرية فيها التي يتعارض وجودها مع طبيعة المضادات المطابقة لها في المصل .

في سنة 1914 اثبت هيرزفيلد Hirzfeld وجود فروقات متنوعة في توزيع فئات الدم ، بين

المجموعات البشرية ، وهكذا فتح الطريق امام تطبيقها في مجال علم الاناسة . في سنة 1926 اثبت ف . برنشتين Bernstein الأوالية الصحيحة في عملية النقل المندلي (نسبة الى مندل) للمجموعات A, B, O ، المعروفة منذ سنة 1909 بفضل أ . فون دونجرن Von Dungern ول . هرزفيلد . ان الانماط العرقية هي ستة : OO, BO, BB, AO, AA, AB . ولكن الانماط الفردية تقتصر على اربعة ، بسبب قانون السيطرة . والمجموعة OO لا تحتوي على مولد التخثير ، ولذا فهي تصلح لكل الفئات « انها معطٍ شامل » ، اما المجموعات الثانوية M N و P فقد توضحت بفضل لندشتينر وليفين Levine سنة 1927 . ومنذ سنة 1940 اكتشف كِلّ Kell ودوفّي Duffy ولوثيران Lutheran ، ولويس Lewis العديد من الفئات الاخرى .

وهناك اكتشاف اخر مهم جرى في الفترة 1930-1940 ، وهو تثّبت لندشتينر وويئر Wiener من تلاصق الكريات الحمراء البشرية لدى 85 بالمئة في افراد العرق الابيض بفعل مصل الأرنب الذي اكتسب المناعة ضد الكرويات الحمر المسماة « ماكاكوس ريزوس » . ومن هنا التسمية : « العامل Rh » . وفي السنة التالية بيَّن ليفين ان تدخل اي تضاد ضد هذا العامل ، يُنبيء عن مرض تفتيت الكريات الحمر عند الوليد الجديد .

وقد ابتكر ج . بورديه Bordet (1898-1901) أو الية تفكك الكريات الحمراء ، وذلك بالتفاعل بينها وبين بعض المضادات الخاصة الموجودة في بعض الامصال في الانواع الاخرى . ولا بد من وجود وسيط دائم ، انه المكمل . والبحث عن المضادات التي تظهر على اثر الاصابة الميكروبية ، هو مبدأ تفاعل السفلس الذي قال به بورديه و واسرمان Wasserman سنة 1906 .

الكريات البيضاء (الليكوسيت) ـ اذا لم تكن الكرة الحمراء إلاّ جزءاً نسيجياً بلاسمياً ، تَعَرَّضَ لتقهقر جعله لا يستهلك الاوكسيجين الذي يحمله ، فان الكرة البيضاء ترتدي كل الخصائص الشكلانية والوظيفية الحياتية .

وقد تم عزل انزيمات الكريات البيضاء في بداية القرن العشرين (فيسنجر Fiessinger ، منذ سنة 1902) : منشطات الأكسدة : الأوكسيداز ، البيروكسيداز ، البروتاز ، الليباز ، [أي منشطات البيروتين والليبيد] . ان التقدم الحاصل في كيمياء الانسجة قد اتاح تحليلاً لمكونات ولفاعلات السمات في هذه الخلايا .

وترصد اليوم حياة الكريات البيض بسهولة بفضل التصوير السينمائي التصغيري المتعدد الألوان . ان الاحاطة بالطرائد ، ومصيرها قد كُبِّرت كثيراً بفضل الميكروسكوب الالكتروني . واخذ يظهر بوضوح ان عدد الكريات البيضاء يخضع لتضبيطات ما تزال مجهولة . ان زَرْقة من الكورتيزون او من الهرمون الذي تفرزه الغدة النخامية الامامية القشرية يجرّ وراءه نقصاً مهماً في عدد الخلايا ذات النوى الكثيرة الملونة بالاحمر (راتز ثورن Thorn, 1948) . ان الغدة القشرية الكظرية (فوق الكلية) هي ذات تأثير معقد على صيغة وعلى عدد الكريات البيضاء (دوورتي Dougherty ووايت White, 1943) .

ان الصفائح الدموية قد صورت على افلام وفحصت تفصيلاً . واوضحت كيمياء الانسجة

غياب اية مادة نووية في داخل هذه الكريات . وتدخلها في تخثر الدم اصبح معروفاً اكثر فاكثر .

لدى الثدييات تبدو حياة هذه الخلايا قصيرة نوعاً ما . اما الكريات الحمر ، المحرومة من النواة فهي تتجدد باستمرار . وضرورة هذا التجدد المستمر للخلايا الحمر ذات اهمية لفهم فقر الدم وعلاجه .

ان بعض الحوامض الامينية والفيتامينات والحديد هي ضرورية . ويتولّد في المعدة عنصر جديد بفضل الفيتامين ب 12 (B 12) فيمكن من امتصاصه ، ويشكّل معه عنصراً جديداً هو عنصر كاستلي (1929) . وهناك عنصر هرموني هيپوفيزي او نخامي يتحكم في نشاط الخلايا الحمر .

ان الكريات البيضاء تمّر بدون توقف في الانسجة الملحمية حيث تمارس نشاطها . وسرعتها في التجدد تبرز من خلال واقعة رُصِدَت سنة 1935 ، في النخاع الشوكي البشري ، حيث يبدو الصف الابيض ، اكثر غزارة من الصف الاحمر باربعة أضعاف ، في حين ان الدم يحتوي على كريات حمراء اكثر من الكريات البيضاء بسبع مئة ضعف . في سنة 1906 رصد رايت تضاعف النوى واعتبره كاساس او مصدر للكريات او الصفائح ؛ وهذه الواقعة ثبتت حديثاً سنة 1956 بفضل المراقبة الحية بواسطة تكثيف الضوء . وقد ادت طريقة زرع لب العظم في المختبر ، وهي طريقة حديثة ، الى معطيات اكثر يقيناً فيما يتعلق بالتسلسل الخلوي . وبُذِل جهدٌ من اجل العثور على روابط القرابة في الصفوف الخمسة في تكوين الدم ، والتي يتولد ثلاثة منها ، وبشكل حصري في النسيج الملحمي في لب العظم .

البلاسما الدموية ـ ان البلاسما هي المادة المهمة الحشوية السائلة في النسيج الدموي . ونشاهد ، بخلال التوالد العضلي الحيواني تشكلٌ وسد داخلي ، ضيق في تكوينه الكيميائي وفي ثوابته الفيزيائية الكيميائية .

ان دم الثدييات يتميز بكامن هيدروجيني pH يتراوح بين 7,7 و 7,8 . وعملية الضبط مزدوجة : فهي مباشرة بفضل الاجهزة المضادة ؛ وهي مؤخرة بفعل اخراج غاز كربونيك من خلال الرئتين ، واخراج الحوامض والقاعدات من خلال الكليتين .

ان التركيب المعدني يقترن بمبادلات ايونية (كهربائية) بين الكريات والبلاسما .
وثبوتية المكونات الكيميائية ، اي ثبات كميتها بشكل واضح في الدم هو من صنع ضوابط عذرية صمائية تتدخل فيها عوامل يضاد بعضها البعض .

وقد تمت تجزئة البروتينات الموجودة في البلاسما بفعل الترسيب وبفعل التحليل والنقل الكهربائيين .

ان الجزء الزلالي يشتمل على اكثر من نصف المجموع . وهو ذو منشأ كبدي ، وهو مسؤول عن الضغط التررمي في الپلاسما .

اما الكسر الغلوبيليني (الكريني ، ثلاثين الى اربعة بالمئة من البروتيدات) فيتكون من جزيئات أكبر تنقسم إلى ثلاثة أجزاء :

أ ـ الغلوبيلين أو الكـريين α ويتألف من بـروتينات دهنيـة ومن بروتينـات سكـريـة متـأتيـة من النسيج الملحمي .

ب ـ الغلوبيلين β الذي تركبه الكبد ويقترن بأكبر جزء من البـروتينات الليبيـدية في البـلاسما وهذا الكسر يحمل مولدات الاستروجين وهي خلايا الحمل ، الاصباغ الجزرية [الكاروتين : مادة ملونـة صفراء أو حمـراء نجدهـا في النباتـات (الجزر) ولـدى الانسان في الجسم الاصفـر داخـل المبيض] .

ج ـ والغلوبيلين γ ولبعضها وزن جزيئي يعادل المليون ، وهي ذات اهمية كبيرة بفعل مناعتها ودورهـا . وتركيبهـا يتم فعلاً داخـل النظام الشبكي ـ النسيجي الخلوي ، انـطلاقـاً من الحـوامض الامينية .

ان لبعض انواع الغلوبيلين اهمية كبرى فيزيولوجية : الفيبرنوجين [مولد الالياف] وبروتينات التخثر الدموي (بروترومبين ، والعوامل المساعدة على النزف ، والمعجِّلات) ، والبروتينات المسؤولة عن صفات الأمصال (الملصقات المتساوية ، وبروتينات الإتمام) ، والانزيمات البروتينية ، والهرمونات البروتينية ، وبصورة اساسية العنصر الدرقي ؛ ومولد الضغط الشرياني ؛ واخيراً البروبردين الذي يشكل عامل مناعة طبيعية .

تخثر الدم ـ ان التخثر هو موت النسيج الدموي . وقد امكن درس تفاعليته بواسطة المجهر الالكتروني بعد سبق درسه بالميكروسكوب العادي . وبدأت معرفة الأواليات الكيميائية المعقدة مع و . هنسـون (1771 Henson) . وسميت اللحمة الخيطية الليف ، وتم التعرف على سابقها ، وهو مولد الالياف وعلى خميرة هذا التحول ، او الترومبين [مخثر الدم] بفصل هامَّار سْتِنْ ، سنة 1876 . ودمجت هذه المعطيات الاساس ضمن نظرية تخميرية صاغها مورا ويتز سنة 1904 . ان الليف يتأتى من تحول مولد الليف بواسطة الترومبين . ويتولد هذا الاخير بواسطة تأثير الترومبوبلاستين [البلاستين هو جزء من نواة نسيج الخلية] على اصل المخثر الموجود في البلاسما (برو ـ ثرومبين) مع وجود املاح الكالسيوم .

ومنذ حوالي خمس وعشرين سنة ، تمّ اكتشـافُ العديـد من العوامـل الجديـدة المتدخلة في التخثر . ويندمج اثرهـا بتأثيـر مُوَلِّـدَ الالياف أو العـامل الاول [1] ، في الـ « پـرو ـ ترومبين » (و . هـ . هـويل ، 1910) او العـامل الثـاني ، في « الترومبـوبلاستين » النسيجي أوالعـامـل الثـالث (هويل ، 1912) والكالسيوم او العامل الرابع (ارتوس ، وپاجيس ، 1890) . ومنذ 1942 ، درست ظاهرة تفسخ الالياف ، المعروفة منذ 1889 ، بعناية من قبل آستروپ ، وتانيون ، ومولـرتز ، وفـون كَوْلا ، وماك فارلان .

(1) في سنة 1954 ، كلفت لجنة دولية بتنظيم جدول بعوامل التخثير . وقد تم التوافق على النظام العددي المذكور هنا . اما عوامل هاجيمان و P. T. A ، ومعدِّلُ الليـف (الليفين) فلم تصنف بعد .

ومن بين العناصر المكتشفة حديثاً يجب ان نذكر :

أ ـ الغلوبيلين المضاد للنزف A ، العامل الثامن (باتيك وستيتسون ، 1937) ، الذي اوضح دورَهُ كويك (1947) .

ب ـ شبه المُسرِّع ، وهو العامل الخامس (اورن Owren ,1947) ، وهو سابق غير ناشط على المسرِّع أو العامل السادس .

ج ـ شبه القلّاب أو العامل السابع (كولر وأوْرِن ، 1947) .

د ـ عناصر جديدة مضادة للنزف أو « البروثرومبوبلاستيك » (المبدأ A هوالغلوبيلين المضاد للنزف الذي عثر عليه كويك) : المبدأ B (كريستماس فاكتور المنسوب الى بريغس ، او البلاسما المخثرة (ثرومبوبلاستين) المركبة Component او العامل التاسع : اغجيلر Aggeler ,1952) ؛ المبدأ (P. T. A أو بلاسما مخثرة سابقة ، روزنتال ، 1953) ؛ المبدأ D (عامل هاجيمان ، 1954) ؛ المبدأ E (ڤان كريڤِلْدْ وبولسين Paulssen ,1951) المحرّر بفضل الصفائح . ونقص هذه المبادىء يطيل كثيراً وقت التخثر .

في سنة 1953 وصف بيغس ودوغلاس تجربة توليد (تخليق) المخثر « بروثرومبو بلاستين » ، الذي اتاح اخيراً دراسة المرحلة الاولى من مراحل التخثر . في سنة 1954 ، بيّن راتنوفَ دور العامل « الاتصال = التماس » . وفي سنة 1957 عاد مارغوليس Margolis الى هذه الاعمال ، ففتحت سبيلاً جديداً للبحث . في سنة 1956 بيّن غراهام وهوجي ان شبه القلّاب هو اتحاد عاملين ، عامل ستوارت (X) (العاشر) والعامل السابع . ان نقص بعض العوامل يجر اضطرابات في التخثر ، اصبحت اليوم معروفة تماماً .

هذه الظاهرة المعقدة في مجال التخثر تُقَسَّمُ الى ثلاث مراحل متتالية : تكون المخثر في النواة ، تشكّل المخثر ، تشكل الليف .

وتتيح المعيقات الفيزيولوجية تفسير عدم تخثر الدم الجاري .

ان مضاد التخثر في النواة antithrombo-Plastique الذي اكتشفه توكانتينس Tocantins ، هو مضاد التخثر البلاسموي الذي لا يتدخل الا بعد تشكل الليف (و . هـ . هويل ، 1918) والكبدين المستخرج اولاً من الكبد (هويل ، 1919) ، ومنها اسمه ، انما الموجود في الواقع في كل الانسجة . بالنسبة الى هويل ان الكبدين هو الذي يؤمن عدم تخثر الدم الجوال .

III ـ الايض والتغذية

إنّ الاسهامات الغذائية تكفي حاجات الجسم بالمواد العضوية وبالطاقة . وفي مجال التغذية ، تابع القرن العشرون الانجاز السابق ، مع فتح مجالات جديدة خصبة . وقد اقترنت البحوث حول الايض الخلوي المحلل سابقاً (الفقرة I ، الفصل السابق) بدراسات حول ايض مجمل الجسد .

انواع الايض ـ كان الايض المركيزي ـ عند الحيوانات الثابتة الحرارة ـ والذي يمثل الحد الادنى من انفاق الجسم في حالة الراحة ، موضوع قياسات دقيقة (م . روبنر Rubner , 1902 ؛ ف . ج . بنديكت ، 1907 و 1933 ؛ أ . ف . دوبوا 1924 ،الخ .) اكملت دراسات القرن التاسع عشر (مجلد III) . وهذا الايض يتعلق بعوامل عدة ، خاصة بعمل الغدة الدرقية .

ان العديد من البحوث الفيزيولوجية والبيوكيميائية ، قد خصصت لمختلف العمليات الايضية : الايض المائي ، الايض المعدني ، الايض الغلوسيدي ، والايض الليبيدي ، والايض البروتيدي (الفصل السابق) . ان الاحتياجات والنفقات قد تحددت ، في حين تمَّ بصور تدريجية توضيح المراحل الوسيطة ، التي يلعب فيها الكبد دوراً رئيساً .

التغذية ـ ان حاجات المخصص الغذائي الحيواني ثلاثية : من حيث الكمية العامة ، من حيث التوازن الصحيح بين المواد المتكاملة ، ومن حيث النوعية . ان هذه المقتضيات الاخيرة قد اتاحت القيام باستقصاءات ثمينة . وهكذا يتلقى الجسم بواسطة التغذية بعض الحوامض الامينية التي لا يستطيع هو تركيبها بنفسه : ان البحوث حول التريبتوفان [حامض اميني متبلر] ، حول هذا الموضوع ، بدت كلاسيكية بحق (الفقرة السابقة) .

والاكتشاف الأكثر أهمية في هذا المجال هو اكتشاف الفيتامينات .

لقد تم هذا الاكتشاف ، المنبثق عن اكتشاف النقص الذاتي الخاص ، بفضل الطريق الطبي ، سنداً لاستقصاءات تجريبية ، وبفضل اعمال الكيميائيين . ودراسة هذه الاعمال بحثت في غير هذا المكان [1] ، لذا فاننا نكتفي بالتذكير بالاهمية الاستثنائية لهذه المستحضرات فيما يتعلق بالجهاز الحيواني . ورغم ان التعبير عنها بقي واقعياً عملياً ، وان المعرفة بها ما تزال غير مكتملة ، فان هذه المواد ـ التي امكن تحضير الكثير منها بواسطة التركيب ـ تحتل مكاناً اساسياً في جدول المكونات البيوكيميائية .

فيزيولوجيا الهضم ـ ان اواليات الهضم والتمثل قد توضحت بصورة تدريجية . وبصورة خاصة بفضل الاعمال حول فيزيولوجيا الانسجة وحول البيوكيمياء .

على مستوى القناة الهضمية ، تم التوصل الى توضيح الاعمال المتتالية حول تفكك بروتيد الزلاليات المستوعبة بسلاسل انزيمية معدوية معوية . ان تركيب وتأثير اهم العصائر الهضمية المعروفة سابقاً قد توضحا . وقد تمّ التثبّت من أنزيمات عديدة مثل : اللاكتاز والليباز ، والبروتيداز والمسوات والانفحة (بايليس Bayliss وستارلنغ Starling, 1902 ؛ ادكنس Edkins, 1906 ؛ آغرن ، 1934 ، الخ) في حين تمَّ اكتشاف مفعول الهرمونات المختلفة العاملة في مختلف مراحل العملية الهضمية . ان الدراسة التجريبية لهذه الاوالية ، التي بوشر بها بشكل رائع من قبل ي . پ . پافلوف ، الذي اكمل تقنية الفصد المعدوي والبنكرياسي [البنكرياس = الحلوة] التجريبي (1890

(1) راجع دراسة آ . ايهد (الفقرة VII ، الفصل XI ، القسم الثاني) ودراسة ر . ودراسة ر . دوبري وج . ديبوكوا (الفقرة X ، الفصل II ، القسم الخامس) اللتين تقدمان استكمالاً لكل المواضيع المثارة .

و 1907) ، قد اكملها آ . ج . كارلسون (1912) ، وآ . ك . ايفي وج . ي فارُيل Farrel (1925) ، وس . ج وهـ . ج . وولف Wolf (1943) ، الخ . ان العوامل الميكانيكة ، في الهضم ، قد اوضحها و . ب كانون (1911) ور . غلينارد (الدراسة السينمائية التسجيلية لحركات الامعاء ، 1913) ، وا . ك ، الفارز (1922) ، الخ .

ان البنية في مختلف مستوياتها ، والبيوكيمياء ، وعمل الكبد كانت موضوع العديد من البحوث . وافراز المرة (الصفراء) وهي أصل الملونات انطلاقاً من الهموغلوبين ، قد توضح (ويندوس Windaus ، ويلاند ، وديلس Diels وهـ . فيشر Fischer ، ور . روبنسون Robinson ، الخ) .

الافراز البولي ـ ان بنية الانبوب البولي كانت قد عرفت في القسم الاخير من القرن التاسع عشر . ان قوانين الافرازات الكليوية (ثابتة آمبارد ، 1910) كانت قد اعلنت . ان دور مختلف مقاطع الانبوب البولي قد بحث على اسس تجريبية مقارنة (جيرار وكورديه ,1930-1934 Cordier) ؛ فيِّيل ، (1939) ، مما ادى الى الامتناع عن تصادم النظريتين : تصفية ـ افراز وتصفية ـ امتصاص ، الصادرتين بخلال القرن التاسع عشر . ان كتلة العروق تحدث بولة مؤقتة (تنقيط متناهي الصغر قال به ويرن Wearn وريشاردس ، 1924) هي تناهي الترشيح . وهذا الترشيح يغتني بافراز الانبوب الاول المتعرج ، ولكنه يفتقر بالامتصاصات التي تحدث . ان خلايا الانبوب البولي تعمل وفقاً لتفاعلية فوسفورية [تشكل الفوسفور في الجسم] . وقد امكن حساب مُعامِلُ التنقية البلاسمية لمختلف المواد (تنقية ڤان سليك 1921, Van Slyke) .

ان كمية الماء الراشحة ، يومياً ، بفعل كتلة العروق البشرية قد تم قياسها : تقريباً 180 ليتراً . ان القسم الاكبر منها يُمتصّ وبالضرورة ؛ والباقي فيه مجموعة الغدة النخامية في الرأس (Hypo-thalamo-Post-hypophysaire) التي يؤدي عجزها إلى تكاثر البول في مرض الزرب التفه .

ان انتقال الايونات الموسومة بشكل اصطناعي قد درس (مورل 1953, Morel) ، وتعطي اهمية متزايدة ، لعامل الانخفاض الفيزيولوجي الامتصاصي القشري في الحلمات (هيرز ,1952 Hirz) ، ولمفهوم التركز بفعل التيار المعاكس .

الفيزيولوجيا التنفسية ـ فضلاً عن البحوث حول التنفس الخلوي (الفقرة I ، الفصل السابق) تناولت بحوث عديدة المظهر البيوكيميائي للتنفس على صعيد الجسم (ر . بيترس ، 1912 ؛ ج . و . كريستيانسن ، 1914 ؛ و . مايير هوف ، 1918 ؛ هـ . هارتريدج وف . روفتون 1923 ؛ ور . جيزل ، 1925 ؛ الخ) . وقد تابع آخرون دراسة فيزيولوجيا التنفس (ج . س هالدان وج . ج . جيليس ، 1905 ؛ وك . هيمانس ، 1929 ؛ الخ) . ان الميكانيك التنفسي قد درس ايضاً ؛ نذكر بشكل خاص مقياس التنفس الذي وضعه تيسُّوه Tissot وجهاز ك . ج . دوغلاس لتحديد ضخامة المبادلات التنفسية . ان تقدم الطيران ، والغطس تحت البحار هي في اساس البحوث الخصبة ذات الفائدة النظرية والعملية .

فيزيولوجيا دوران الدم ـ سبق ان اشرنا الى النجاحات الملحوظة التي حققتها البيوكيمياء في

دراسة تركيب وخصائص الدم (الفقرة السابقة) . ان القلب والنظام الدوري كانا فضلاً عن ذلك موضوع دراسات نسيجية ، وتشريحية ، وفيزيولوجية (وظيفية) متقدمة جداً . ان استخدام السينما (ل . براون ، 1897) ، واستعمال مقياس غالفاني (غالفانومتر) ذي الوتر واستعمال مقياس القلب الكهربائي الذي وضعه و . اينتهوفن Einthoven (1901-1904) قد ادت كلها الى تقدم سريع في معرفة الوتيرة والأواليات القلبية .

وتحليل الاوتوماتية القلبية قد استفاد من اكتشاف عقدة كيث وفلاك (1906-1907) وعقدة تاوارا (1906) استكمالاً للاوصاف النسيجية للنسيج العقدي عند بوركيني Purkyne ولضمّة هيس His . ومنذ القرن التاسع عشر ، جرى التعرف على الاعصاب المعدِّلة والمسرِّعة للقلب ، وعلى التحرك الوعائي ، وعلى بعض الظاهرات التي تتدخل في الضغط الشرياني ، وعلى المنطقة المولدة للانعكاس القلبي الاورطي (الأبهري) ، وعلى العوامل التي تحرك مراكز التنفس البصيلي . ان هذه المعلومات قد بحثت بتوسع في القرن العشرين . ان وجود ـ عند مستوى المفترق الوداجي السباتي ـ منطقة ذات حساسية قوية جداً ، وحساسة تجاه تغيرات الضغط والتركيب الكيميائي في الدم ، قد اضيف الى الوقائع السابقة (ك . هيمانس ، 1929) . وقد بذلت جهود من اجل استخراج المواد الكيميائية المتدخلة في تنظيم العمل الذاتي القلبي .

وكشفت البحوث كثرة التفمّم الشرياني الوريدي تحت مظهر « الغلومي العصبي ـ الوعائي » ؛ وعمل هذا التفمّم والتواصل اندمج في عمل التحرك الدوراني في الشعيرات الدموية الذي كان موضوع استقصاءات دقيقة ، خاصة بفضل تقنية الرصد المباشر في غرفة كلارك . وبين آ. كروف (1904, 1922) ان التحرك الوعائي في الشعيرات يتعلق بنشاط الاعضاء المروية . ان العوامل الفيزيائية الكيميائية المؤثرة في الغشاء الشعيري قد اكتشفت وتحددت (الهستامين : دال وريشاردس ، 1918-1919 ؛ فيتامين PوC ؛ كورتيزون) . اما المبادلات التي تحدث عند مستوى الشعيرات ، فقد اتاح استعمال النظائر المشعة تحليلها بصورة افضل .

البنية العضلية وفيزيولوجيتها ـ لقد درس التفارق العضلي في القرن التاسع عشر ، من الناحية التشكلية . ان تحزز العضل الارادي قد وُصِفَ طويلاً . وقد ظهر ايضاً ان الغلوكوز هو المحروق الطاقوي الرئيسي .

ان القرن العشرين ، وبفضل الوسائل الجديدة التضخيمية والرصدية لتيار العمل ، قد توصل الى تكوين صورة واضحة عنها . ان الاثارة هي الاخراج ، وهذا الاخراج الذي تدخل فيه ايونات البوتاسيوم ، ادى الى تغيرات في الشفافية الترشيحية . وقد درس الايض التحليلي السكري بعمق ، وقد اكتشف فيه تدخل توليد الفوسفور والحامض المكون للخلايا المثلثة الفسفرة ، وفيها تمّ التثبت من ظاهرات التحليل الفوسفوري . ان الحامض اللبني يتكون في آخر التفاعليات اللاهوائية ؛ قسم يحترق فيتحول الى ماء وغاز كاربونيك ، وقسم يستخدم لاعادة تكوين احتياطي من الغليكوجين والحامض اللبني ؛ وفي هذا مظهر من المظاهر الاساسية والركيزية في الايضيات الوسيطة ، التي تمسك بها القرن العشرين . وقد شارك العديد من الفيزيولوجيين والبيوكيميائيين من

ذوي الموهبة العظيمة ، في توضيح هذه المسائل الصعبة امثال : و . م فلتشر وف . ج . هوبكنس (1907) ، وآ . ف . هيل(1911-1938) ، وو . ف مايرهوف Mayerhof (1918-1920) ، وب . كاتز Katz ، و . انجلهاردت Engelhardt ، الخ . واتجهت البحوث الآن نحو التنظيم الخلوي للُّيف العضلي .

ان الميوزين المقلص هو مزيج من الميوزين [myo = عضل] و« الاكتين » . وقد أمكن في المختبر فصل هاتين المادتين ، وجمعهما ، والحصول على تقليصهما . يوجد الاكتين بشكلين ، الاول مستطيل والثاني حُبيبي ، ينمان عن الخصائص الميكانيكية لهذا الجسم (ج . ت . ادسال ، Edsall 1930, ؛ هـ . ويبر ، 1934 ؛ ت . بورونوسكي ، 1939 ؛ آ . زنت ـ جيورجي ، 1948 ، الخ) . ان الفحص الحديث للالياف العضلية بالمجهر الالكتروني قد اتاح وصفاً شديد الايحاء لترتيب المكونات الكيميائية بالنسبة الى التحزيز . ان الميوغلوبين ـ كبروتين ظلَّ ملتبساً لمدة طويلة مع الهيموغلوبين ـ يتصرف كاحتياطي من الاوكسيجين بالنسبة الى العضل ذي العمل البطيء . وقد عزله تيوريل Theorell سنة 1932 . وبنيته ذات الابعاد الثلاثة قد توضحت حديثاً بفضل ج . ك . كِنْدْرُوم . ف . پروتز Perutz .

IV ـ التناسق العضوي

من اجل الحفاظ على الحياة في الجسم ، لا بدَّ من تفاعلات بين مختلف الاعضاء ومختلف الوظائف ، وهي تفاعلات تمثل في الواقع اكراهات حقة . فالميتازويز (متعددات الخلايا) ، خاصة الاشكال المتطورة جداً تتسم بمتطلبات هي ثمن تنظيمها الرفيع . لقد اوضح القرن العشرون الضوابط التي تحفظ هذا « الانضباط الذاتي » الضروري (و . ب كانون ، 1926) . في الفقريات ، تبدو هذه الضوابط ، في معظمها ، ذات طبيعة عصبية أو هرمونية : ثبوتية المعدل الهيدروجيني (pH) عند الثدييات ؛ ثبوت درجة الحرارة عند ذاتيات الحرارة كالطيور والثدييات .

ولكن امكن حديثاً ، واثناء عملية التجليد الاصطناعي ، ملاحظة مقاومة الانسجة لانخفاض درجة الحرارة الذي ظُنَّ انه ضار حتماً . واخيراً ان المسبِتات ـ وهي حالات وسط بين الحيوانات ذات الحرارة الثابتة ، والحيوانات ذات الدم البارد والمتغير الحرارة ـ تشكل مادة ثمينة لتحليل تفاعليات التخدر العضلي واليقظة الربيعية .

نذكر ايضاً الاواليات التي تؤمن المحافظة على الاوتوماتية (الحركة الذاتية) القلبية ، وانتظام العملية التنفسية .

1 ـ التناسق العصبي الانباتي

ان النظام الودّي معروف منذ عدة قرون . وقد كشفت وقائع دقيقة ، في القرن الثامن عشر دوره كمحرك وعائي ؛ وقد اجرى كلود برنار فيما بعد تجارب كلاسيكية حول ظروف النشاط اللعابي وحول نشاط مجموعة العضلات الحدقية (irienne) . في القرن العشرين عُرِّف الحبيُّ (أو الوِدِّيُ) بانه « العصب الموجود في كل موضع » : مما يعني ان سيطرته تشمل كلَّ خلايا الجسم .

وميَّـز فيـه ج . ن . لانغلي (1921) قسمين متضادين : الودي المستقيم ، وشبـه الـودي . الاول ، مثـلاً ، يسرِّعُ القلبَ ؛ في حين ان الثـاني يُبَطِّئُـهُ . والى المهاد تحت البصـري عـزيت اهميـة من الدرجة الاولى . وبدأت الحقبة التجريبية ، عند مستوى هذه المنطقة ، مع ج . ب . كـاربلوس وآ . كريْدل (1909-1912) .

ولوحظ ان حفز الجوانب من البطين الثالث يحدث تغييرات في النبض القلبي ، وفي الضغط الـدموي ، وفي التعـرّق . وتلفـه يؤدّي إلى الـزرب التفـه (هـ . و . كـوشنـغ ، 1912 ؛ آ . ي . فـرانـك ، 1912 ؛ وج . هـ . بيغـارت وج . ل . الكسنـدر ، 1939) . ثم تمَّ التثبتُ من نصيب الدماغ المتوسط في تنظيم الحرارة ، وفي ايض الماء ، والنوم ، والصرع التجريبي ، والشخصية ، والانفعـال ، واللذة والالم (و . ر . هس ، الخ) . وامتـدت المساحـة الانباتيـة على طـول شبكـة الجذع الدماغي .

وعنـد مستـوى تحت المهـاد تتم الاتصـالات العصبيـة الغـدديـة الصمـائيـة المـركـزيـة . فهي تحقق مزدوجاً وظيفيـاً مهاديـاً ـ وراء النخاميـة ، فتنظم ايض المـاء . وهنـاك اتصـال آخر دُرِسَ كثيـراً هو اتصـال الدمـاغ المتوسط بـالنخاميـة الاماميـة بواسـطة طريق وعـائي في الاسـاس . وقـد وصفت ، في « تحت المهـاد » مـراكـز حـافـزة للغـدة الـدرقيـة ، وجنسيـة ، وقشـريـة ـ كليـويـة فوقية . ان هـورمونـات الغدد الصمـاء على انواعهـا تؤثر في هـذه المنطقـة لتنظم عملهـا . وتُعمِلُ الانعكاسات هذا الاتصال العصبي ـ الصمائي الغددي .

ان الخـلايا العصبيـة ، لدى الـلافقريـات ، وهذا الافـراز العصبي هو عمـل غددي صمـائي حقيقي يظهر هكذا في بعض الخلايا العصبية .

وأثبت بـارغمانـك (1949 - 1950) ، وهو يستعمـل طريقـة التلوين الخصـوصي بفضـل الملون الدموي (هماتوكسيلين) ، ملون غوموري ، انسياب هذا الافـراز نحو التجـويف الخلفي في الغدة النخامية ، وهـو بؤرة تجمع العنـاصر ذات المنشـأ النخامي . ان الافـراز العصبي نحـو التجـويف الامامي قد درس قليلاً . وقد ثبت فيـزيولـوجياً وجـود تحويـل او نقل عصبي ـ هـرموني من « تحت المهاد » باتجاه النخامية (التهيؤ لعملية الإباضة = نشاط المبيض) .

ومنذ أواخر القرن التاسع عشر اظهرت تقاريـر تشريحيـة ـ امراضيـة ان تنظيم النوم يجب ان يتموضع في الطبقات العميقة من الجذع الدماغي ، وخاصة في « تحت المهاد » .

وقـد اكدت معـطيات تجـريبيـة جـديـدة هـذا المفهـوم(و . ر . هس ، 1925 ؛ رانسـون ، 1925) . ان تحكميـة النوم واليقـظـة تخـضـع الى تـوريـدات ذاتيـة خصـوصيـة (بـرمِـرْ ، 1935, Bremer) . ان شبكـة الجذع الـدماغي (مـاغون ، ومـوروزي 1949, Moruzzi) تتدخـل . ولكن المفهوم « تحت القشري » للنوم حصري وضيق جداً ؛ إنّ للقشرة الدماغية دوراً في اليقظة .

اليوم تتوضح الترابطات الضيقة بين النظام الانباتي ونظام حياة التواصل ؛ من جهـة ان المادة الشبكيـة ـ العروقيـة قد تُخفَـزُ بسوائـل عصبية حسيـة (تخضَـر عنـدئذ ذاتيتهـا) ، وبذات الوقت ،

تُحَفِّزُ ، فضلاً عن ذلك ، بتغيرات في التركيب الدموي (ادرينالين ، ضغط الغاز كربونيك CO_2 ، وهي عناصر صيدلانية منشطة) ؛ ومن جهة اخرى ان هذه المادة تتحكم في نشاط القشرة (كورتكس) وتنعكس على الانعكاسات في حياة التواصل .

2 ـ التناسق الغددي الصمائي

ان الاكتشافات في هذا المجال ، كان لها اهمية نظرية كبيرة ، كما لها ، بذات الوقت ، وقعٌ حسمٌ في مجال المعالجة البشرية . ان القرن العشرين عرف انجازات مشهودة ، بفضل التحضير الكيميائي للهرمونات التي أتاحت تجريباً ادق بكثير . وقد اقام علم الغدد الصماء الجنسي وبيَّن وحدة الاواليات الهرمونية عند الفقريات . وحديثاً ، تمَّ توضيح وجود علاقات متبادلة صمائية لدى اللافقريات .

بدايات علم الغدد الصماء . تأسس علم الغدد في القسم الثاني من القرن التاسع عشر . في سنة 1855 قرر كلود برنار دور بعض الغدد في الحفاظ على التركيب الكيميائي للوسط الداخلي . واكتشف الوظيفة الغلوكوجينية للكبد ، وهو اول مثل على الافراز الداخلي (مجلد III) . وتوقع بروان ـ سيكوارد ، بعد ان جرَّب على نفسه المستخرجات الزرقية من البيضتين (1889 - 1891) ، خصب الحصاد المستقبلي ، واوضح مفهوم المتلقي .

في حين ترسخت ذاتية هذا المجال العلمي ، قدم الباحثون نتائج عدة . في حين لاحظ العياديون نتائج النقص (القصور) الغددي أو فرط النشاط الغددي (مجلد III) ، جَهِدَ الفيزيولوجيون ، عند الحيوان ، في استحداث الاضطرابات عن طريق استئصال الغدة ، ثم التعويض عنها بالتطعيم أو التلقيح ، (مجلد III) .

ان القرن العشرين سوف يبني ، أولاً ، جسم نظرية متينة[1] . في سنة 1904 درس و . م . بايليس وأ . هـ . ستارلنغ اثر المهيجات مثل السكريتين ، وهو رسول كيميائي ، تفرزه الاغشية المخاطية في الاثنى عشري ، والذي يطلق ـ بفضل افرازات لامتناهية الصغر ـ الافراز الداخلي من الحلوة (بانكرياس) ؛ ان كلمة « هورمون » التي ابتكرها و . ب . هاردي ، اعتمدها ستارلنغ . وبعد عدة سنوات ، وتجاه الانتشار الجامح لعلم الغدد ، أوضح أ . غْليِّ الشروط الدقيقة التي يجب ان تتوفر في الغدة لكي تدخل ضمن هذا المجال البيولوجي .

ان الغدد الصماء ، عدا الكبد ، التي تشكل مستودعاً ايضياً بحق ، هي : الحلوة

---

(1) ان تحليلنا يتناول اساساً الخصائص البيوكيميائية والفيزيولوجية للهرمونات لدى الفقريات ، ولكن هناك مظاهر اخرى لعلم الغدد ، قد عرضت في مكان آخر . عرض ر . دوبري وج . ديبوكوا المراحل الرئيسية لاكتشاف الهرمونات لدى الفقريات العليا (الفقرة IV ، الفصل II ، القسم الخامس) ، ووصفا النهضة الملحوظة في الاستطباب الهرموني (الفقرة V ، الفصل III ، القسم الخامس) . وحلل آ . تتري النتائج الحاصلة في دراسة علم الغدد لدى اللافقريات (الفقرة VI ، الفصل III من هذا القسم) . ان نهضة دراسة الهرمونات النباتية قد وصفت من قبل ج . ف . لوروا (الفقرة I ، الفصل VII من هذا القسم) .

(بنكرياس) والدرقية واشباهها ، وفوق الكليتين ، مع منطقتها القشرية ومنطقتها اللبية ، والنخامية الأمامية والخلفية ، وبعض العناصر الخصوصية ، والمبيضية والمشيمية .

البيوكيمياء الهورمونية ـ ان فرز الهورمونات والحصول عليها بحالة النقاوة ، على حساب المستحضرات البيولوجية ، قد أتاحا تعريف مكوناتها . وبعدها جهد الكيميائيون ليحققوا تركيبها ، ويعيدوا تكوين مراحل صنعها داخل الجسم .

ان البحوث حول البيبتيدات المتنوعة امثال (الانسولين ، البارتورمون ، والمبادىء النخامية الوراثية) قد اصطدمت بمصاعب تتعلق بقابلية التغير في هذه المركبات ، كما اصطدمت بمعارف ظلت لمدة طويلة بدائية ، حول التركيب الصحيح لهذه المجموعة الكيميائية . ان المواد السابقة على النخاميات هي بروتينات مؤلفة فقط من حوامض امينية ومنها : (سوماتو ـ تروفين ، برولاكتين ، كورتيكو ستمبلين) أو هي غلوكوبروتين (تيربوتروفين ، هورمون ـ فوليكولو ـ محفّز ، هورمون لوتينيزي) . إن التيروكسين هو مشتقّ من التيروزين ؛ والأدرينالين مشتق من التيرامين . وأخيراً ان للهورمونات الجنسية ، والهرمونات القشرية فوق الكليتين نواة سيكلو ـ بانتانو ـ فينانثرين مشابهة لنواة الكولسترول .

ان الكيمياء التجسيمية تلعب دوراً مهماً في النشاط الفيزيولوجي . وقد نجح الكيميائيون في ابداع اجسام جديدة ، وان لم تمتلك بنية الهورمونات الطبيعية ، فانها تتمتع بنفس الخصائص الفيزيولوجية . ووجودها يطرح مشكلة فيما يتعلق بالرابط بين القيمة الوظيفية ، والتركيب الكيميائي المحدد بدقة ، والهرمونات ينقلها الدم فيجمد نشاطها الكبد غالباً ، وقد تفرزها الكليتان .

التوالد الهورموني ـ ان تشكل الهورمونات قد حُلّلَ ـ بشكل خاص ـ عند مستوى الدرقية ، وعند مستوى القشرة فوق الكلية ، بفضل استعمال النظائر المشعة . ان المشكلة النسيجية ، المتعلقة بتحديد الحشوة المولِّدة ، قد بدت معقدة جداً احياناً .

ففي القبنخامية ، تخصص العناصر تخصيصاً ابداعياً ؛ استعمل هرلنت Herlant طريقة « النبذ الاقصى » التفاضلية ، فعزل كل نمط من التحجب ، واستخرج منها المبدأ الناشط . وقد أجريت نفس الأرصاد بالنسبة إلى جزيرات لانجرهانس في الحلوة (بانكرياس) وفي القشرة فوق الكلية .

وفي بعض الاحيان يمكن التعرف على حالة السكون والنشاط في الخلايا الغددية ، سنداً لتشكلها(بالنسبة الى الدرقية مثلاً) . فضلاً عن ذلك ان بعض العوامل تغير البنية الغددية .

وبالنسبة الى الدرقية ، فان استئصال النخامية ، وزرق الهورمونات الدرقية ، ونقص اليود تؤدي جميعها الى صور استراحة ؛ وبعد اعطاء « الدرق ـ حافز » (تيريو ستيميلين) او مضاد الدرقي اللذين يخلقان مجهوداً « بلا نتيجة » ، ينعكس المظهر . وبالنسبة الى قشرة فوق الكليتين ، يعمل استئصال النخامية على تراجع النسيج الحشوي في المناطق الوسطى والداخلية ، في حين ان زرق الهورمون الذي تفرزه القشرة يؤدي الى نتيجة معاكسة . ان الخَوَرَ ، والتسمم

بانواعه ، والاوبئة ، والتلقيح الطفيف يحدث تضخماً ارتجاعياً ارتدادياً يمكن ان يؤدي في بعض الاحيان الى تهالك الجسم .

ان بعض المواد تشل صنع احد الهورمونات (مضادات الدرقية : الثيوري ، امينوثيازول ، ثيوراسيل) ؛ وبعض المواد الاخرى تعيب الحشوة المولدة مثل الألوكسان الذي يدمر الخلايا المولدة للانسولين في الحلوة (البنكرياس) .

المفاعيل الهورمونية ـ ان اثرها على المتلقيات يحدد ، بصورة أفضل، الهورمونات بدلاً من مصدرها لان بعضها قد يستحدث عند مستوى الخلايا الفارزة المختلفة .

1 ـ الهورمونات المولدة للتقاسم تتسبب بتكاثر خلوي مما يؤدي الى نمو عام في الجسم (تيروكسين . الخ) او إلى انتشارات موضعية تتناول مطلق متلقٍ (أثر الفولِّيكولين على البطانة المهبلية ، وعلى الحشوة الضرعية) .

2 ـ الهورمونات المولدة للشكل تتحكم بالمظهر العام لدى الفرد ، أو بالبنية لدى مُتَلَقٍّ خاص . من ذلك ان المبادىء التناسلية تؤدي الى ثنائية الشكل الجسماني بحسب الجنس ، وتؤثر في مجموع الاعصاب التناسلية والضرعية .

3 ـ الهورمونات المولدة للوظائف تتحكم بعمل المنشط . ومن بينها : السيكرتين ، ويتحكم بافرازات العنبات الحلوية (البنكرياسية) ؛ البرولاكتين ويحمل الغدة الضرعية على الافراز ؛ الفولِّيكولين وينشط تقبض عضلة الرحم . والضغط الشرياني ، عدا عن خضوعه للعصب ، فهو خاضع لتأثير الهورمونات اللبية والقشرية فوق الكليوية .

4 ـ الهورمونات الايضية تتحكم بالتوازن الكيميائي في الوسط الداخلي . انّ الايض الركيزي منتظم بفعل الدرقية ؛ والايض المائي تنظمه النخامية الامامية ، والدرقية والاوستروجين وبصورة غير مباشرة القشرية فوق الكليوية ؛ وينظِّم ايض ايونات الصوديوم والپوتاسيوم بواسطة القشرية فوق الكليوية ؛ وايض الكالسيوم بواسطة شبه الدرقية وبالفولِّيكولين ؛ وايض الغلوسيد بواسطة الانسولين المنقص لغلوكوز الدم ، وبواسطة هورمونات فعالة في الجسد كالتيروكسين والكورتيزون والغلوكاغون التي تعتبر من المحفزات المؤدِّية الى فرط كربين الدم ؛ وايض الليبيد والپروتيد بواسطة النخامية ، والدرقية والقشرية فوق الكليوية . ونظراً لاهمية التضبيطات التي تؤمنها الحلوة الصماء (بنكرياس) ، والقشرية فوق الكليوية ، وشبه الدرقية ، فهي جميعاً ضرورية للحياة .

5 ـ فضلاً عن وجودنا العضوي ، فان الغريزة ، والنفسية ، والشخصية ، تتعلق كلها بالهورمونات . في سنة 1947 بيّن سوليراك Soulairac ان الشهية الغلوسيدية تخضع لاوالية غددية صمائية معقدة تتدخل فيها الحلوة الانسولينية ، والدرقية والقشرية فوق الكليوية تحت رقابة الغدة تحت المهادية النخامية . ان النبض الجنسي ينطلق من الافرازات الهورمونية في الغدد التناسلية . والغريزة الامومية تنطلق من ذات المحتومية التي تتحكم بالافراز الحليبي : انها محكومة بما قبل الحليب « پرولاكتين » . والغضب والخوف ، هما تحت تأثير الهورمون الدرقي ،

والادرينالين ، مع مشاركة من الجهاز العصبي . ان العوامل الغددية الصمائيـة ، تبدو وكأنّها تـرفع الحساسية الانتقائية تجاه بعض الحوافز الخارجية .

ودراسة التفاعلات الصمائيـة المقارنـة لدى الفقـريات ، بينت ان الهـرمونـات ليست لها ايـة خصوصية حيوانية (ج . ف . غودرناتش Gudernatsch ، ور . كيهل Kehl, 1929) . ان المعايير الضرورية للحصول على جواب ضئيلة للغاية ، من مقدار واحد بالالف من الميليغرام .

التناسق الغددي الصمائي - يبدو العمل الصمائي متسلسلاً في طبقات متناسقة جداً . فبعض الغدد مثل « الحشوة فوق الكلية » تستجيب لحوافز عصبية ؛ ولكن معظمها يخضع للمفعول الكمي والنـوعي ، الناتج عن رسول كيميـائي داخلي مكتَشَف في الوسط أو البيئـة وفي الاخراجـات . ان الحاجة الهورمونية في الجسد تحفز المنبع ، في حين ان الزيادة تنشفه (ر . كوريـيه Courrier) . ان التوازن الغددي المزاجي يشكل هكذا « اوالية ذاتية الحركة » خاضعة للغدة النخامية .

ان النخامية هي طبقـة التحكم الاعلى ، انها « الـدماغ الانبـاتي » ، حيث تنطلق المحـاور الوظيفية : نخامية - درقية ، نخامية - قشرية - فوق كليوية ، نخامية - رحمية . ان النخامية تستجيب لعوامل صمائية وعصبية . والاولى هي بصورة اساسية الاحتياجات الى هـورمون يُفـرزه تأثيـر حافـز « ستيمـولين » خصوصي ذاتي . والثـانية تحمـل على اعتبار الـدماغ المتـوسط والنخـامية كجهاز « متراكب متزاوج » . ان التحكم « تحت المهادي »(هيبوتالاميك) ، المنبثق عن النشاط السـابق على النخامي ، يبدو وكأنه يعمل بالطريق الوعائي المحلي .

ولادة علم الغـدد الصماء الجنسـي لـدى الفقريـات - من المعروف ، من زمن طـويـل ، ان الغـدد الجنسية - عـدا عن نشاطهـا الصمائي - تؤثـر في مجموع الاعصـاب ، وقـد لـوحظ ان هـذا المجموع يضمر بعد الخصي .

وعلى كل إنّ اواليـة مثـل هـذا العمـل - اي الـوسـائـل التي بهـا يتحكم المبيض والبيضـة (الخصية) في حالة المجاري التناسلية والاعضـاء الخارجيـة - كانت مجهـولة تمـاماً . لا شـك ان السمات الجنسية الثانوية ، كانت معروفة في القرن الثامن عشر وقد حددها و . هونتر . كمـا جرت عمليات زرق من مستحلبات الخصية أو النطفة ، خاصة من قبل براون - سيكارد (1889-1891) . ولكن الحقبة الصمائية، فتحت حقاً بعـد فرضيـة العالم بـالانسجة آ . پـرينانت (1898) Prenant ، وبموجبها يرتدي الجسم الاصفر بنية غدة ذات افراز داخلي .

في السنـوات الاولى من القرن اكتشف پ . بـوين Bouin وپ . آنسـل Ancel ان الوظيفـة الصمـائيـة للخصيـة تتمـوضـع عنـد مستـوى الخـلايـا الحشيـويسة التـي وصفـهـا ف . ليديغ (1850) . ان هذه النظرية ، التي كانت موضع جدل حاد ، اصبحت اليوم راسخة .

بيّن فراينكل Fraenkel سنـة 1901 ان الاجسام الصفـراء ضروريـة لتطور الحمـل . ثم جرت تجارب اختبارية دقيقة حول تأثير اللوتيين [وهو هورمون يهيء الرحم لتقبل البويضة الملقحة] في مستوى الرحم .

قام بُروين وآنسل سنة 1909 بانزاء ارانب اناث بذكور جعلت عقيمة . في هذه الاناث المطرَّقة [المثارة جنسياً] افتعالاً ، حدث الانفتاح الرحمي ، مقروناً بظهور الجسم الاصفر . ان هذه الحالة من الحمل الكاذب لم تكن لتحدث اذا مورس استئصال المبيضات اوكي الاجسام الصفراء ؛ وبالمقابل فانه يحدث على اثر القطع الصدمي التجريبي للجرابات (للرحم) . وبذات الوقت ، بيّن ج . لوب Loeb ان مرور خيط عبر غشاء الرحم ـ لدى حيوان التجربة ـ يتبعه تحول اسقاطي في الخلايا الملحمية داخل البطانة الرحمية ، شرط ان تكون اجسام صفراء موجودة في المبيضات . ان ردة الفعل الاسقاطية تتوافق مع تشكل مشيمة امومية ؛ وهي تحتاج الى هزة بسيطة ، وكذلك الى اهاجة على مستوى الغدد الصماء .

النجاحات الاولى ـ تلت هذه الحقبة ـ حقبة السابقين ـ استقصاءات شكلانية وتجريبية حول النشاط الدوري الذكوري والانثوي .

تبين البحوث النسيجية الفيزيولوجية ان بنيات المجموعة العصبية تتطور بالتناسق مع تطور الغدة الجنسية ، وان الاخصاء يضمّرها ، في حين ان التلقيح بالغدة الجنسية يحييها . ان البطانة المهبلية تنتعش وتتليف عندما تنضج الجرابات داخل الغدة التناسلية ؛ وبذات الوقت يقع الحَيَلُ [الشوق الجنسي] . وكانت الحكاكة المهبلية ، بعد حفحفة السطح الغشاوي ، قد اتاحت استخلاص خلايا لفحصها بالمجهر وكانت بذات الوقت الخيط الهادي الى علم الغدد الصماء الجنسية . واذا كان الرحم يتجاوب بتغييرات ذاتية تجاه وجود الاجسام الصفراء ، فان الغشاء المهبلي هو الذي يتلقى تأثير الجرابات .

إن بعض الظاهرات تقدم وضوحاً يكاد يكون مضحكاً : تفارق تطفي دياستيماتيك لدى الثدييات الذكور الثابتة ، نماذج من الدورة المبيضية (المرحلة الجرابية ، بيض مفاجيء ، مرحلة تحفيزية تحضيرية) ، استعمال عرف الديك كمنشط ذكوري .

ثم بذل جهد لعزل المواد المسؤولة عن التحولات في المتلقيات . في سنة 1923 - 1924 ركّز أ . آلّن Allen وا . آ . دوازي Doisy من جهة ، ور . كوريه من جهة أخرى ، على فهم التحضر المهبلي . فبيّنوا ان لدى انثى الجرذ أو الكوبساي (حيوان المختبر) المخصي ، يُعيدُ زرق خلاصات من السائل الجيوبي المبيضي الصورة النسيجية المماثلة للصورة المتكونة ساعة الحيل . وهكذا اثبتوا وجود مبدأ هورموني سماه ر . كوريه « فولّكولين » أو الجيوبي .

وفي سنة 1927 بيّن و . كوريه ان الفولّكولين ليس هو هورمون الجسم الاصفر . فهذا الهورمون هو البروجستيّرون ، الذي اكتشفه ج . و . كورنر وو م . آلّن سنة 1929 ، وقد بلّره آ . بوتيناندت Butenandt سنة 1934 .

ومنذ سنة 1920 تم الكشف عن علاقات نخامية جنسية بفضل استئصال الغدة النخامية ثم اعطاء مستخلصات من الغدة الصنوبرية . وعندها طرح السؤال ، الذي لمّا يقفل بعد ، حول تعددية الافرازات الغددية التناسلية : A (F.S.H) ذو المفعول التحفيزي الجيوبي والمولد للنطف ، و B (L. H) ذو الاثر التحفيزي المثير ، وهو يثير الثنايا الخصيوية . في سنة 1933 توصل أو . ريدل

Riddle إلى عزل البرولاكتين [ما قبل الحليب] السابق على الافراز النخامي الذي يطلق الافراز الحليبي .

واكتشف ب .زونـدك Zondek وس . أشهـايم Aschheim (1927) وجـود مواد هـورمونيـة في البول . ان غزارة افراز الفوليكولين (الجرابات) اثناء الحمل عنـد المرأة أتـاحت دراسته كيميـائياً بسهولة كمـا أتاحت اعـداده صناعيـاً . ان الجيل البشـري متسم أيضاً بـافراز خـاص لعصارة الغـدد التناسلية « غونادو ستيمولين B » ، مما أتاح تشخيصه الاكيـد والمبكر ، بفضـل البيضات المبيضيـة المستثارة عند إعطائه لـلأرنب الأنثى (أشهايم وزونـدك 1928) . ان الهورمـونات المتنـوعة مـوجودة أيضاً في الدم .

ما قدمته البيوكيمياء ـ عندئذ بدأ عصر الاكتشافـات الكيميائيـة . ان المستحضرات النـاشطة قد نُقّيت وبُلّرت . وعندما توضحت[1] تمـاماً صيغهـا ، التي تحتوي على نـواة كحوليـة صلبة والتي تشبه صِيَغَ الهرمونات القشرية فوق الكليوية ، جرى البحث في تحقيق تركيبها .

وتمَّ الحصول على أوستروجين [مولد السفاد في الرحم] صناعية ، غير مزودة بنـواة كحوليـة صلبة : (ستيلبوستـرول ، هكزوستـرول ، بانـزوسترول ، حـامض دوازينوليـك) . ان بعض هذه المواد مزود بنشاطات فيزيولوجية متعددة : مثل البرغنينولـون : المهيج لهـرمونـات الأنوثـة والذكـورة وللجسم الاصفر المساعد على الحمل ؛ ثم الاليناولات المزيل لاوكسجين الافراز القشـري (دي ـ زوكسي ـ كورتيكو ـ ستيرون) ، الخ .

نهضة علم الغدد الجنسي ـ ان البـاحثين ، وقد تزودوا باسلحة قوية ومضمونة ، استطاعوا أن يوسعوا ويعمقوا حقل استقصاءاتهم : مسائل الاثر الكمي للهرمونـات والترابط فيمـا بينها ، التـوازن الغددي الصمائي الجذبي ، الاستعداد الضرعي ، تحديد الجنس عند الجنين .

ولدى مجموعات الفقريات على أنواعها ، تقرر ان الهورمون الذكري تفرزه الخلايا بين الثنايا في الخصيـة ، وهذا العمـل يحكمـه تـوازن غددي مـزاجي ، ويخضـع لسيـطرة النخـاميـة . أمـا الهورمون الاناثي فتفرزه أيضاً القشرية فوق الكليوية وربمـا المبيض . وهو يعمـل بحسب المقاديـر المزرقة ، انطلاقاً من عتبة تتعلق بالمتلقي ، ووفقاً لمنحنى وُضِعَ لعرف الديـك . إن العناصـر التي تتحكم بعمل المبيض قد تم تفريدهـا . ان الاعداد لـلاباضـة كان مـوضوع استقصـاءات : وترتيب العملية زمنياً تحدد عند المرأة في اليوم الرابع عشر من الدورة الحيضيـة والتي هي حقبة الاخصـاب القصوى .

إن الأوستروجين [المثيرات] والجسم الاصفر يقدمـان علاقـات فيما بينهمـا تنسيقية : تنسيق التتالي (فالهورمون المبيضي فولّيكولين يحسس المتلقيات أمام مفعول البروجستين « محـرض على الحمل») ، تنسيق الآنية أو التوافق (فالفولّيكولين يساعد المحرض ويتيح عموماً حفظه وتوفيره) .

---

(1) لمزيد من التفاصيل راجع ر . دوبري وج . ديبوكوا (الفقرة IV ، الفصل II من القسم الخامس) .

ومع ذلك فبعض مقادير الاوستروجين المعطاة ، في مرحلة التحفز الرحمي تعطل التفاعلات المساعدة على الحمل (ظاهرة التضاد الهورموني المبيضي) . ان قوانين التضاد والتوافق هذه هي عمومية ، ولكن الانماط الكمية تختلف بحسب الاجناس وبحسب المتلقّيات .

إن تشريط (اعداده وتحضيره) غشاء الرحم الانثوي وتحديد الحيض الشهري الذي يتأتى من جراء النقص الهورموني قد حللا . والتطعيم ، عند القردة ، بجزء من الغشاء المهبلي في الغرفة السفلى من العين قد أتاح الرصد المجهري للتحولات النسيجية .

لقد جرى تحليل الحمل بفضل دراسة الافرازات الهورمونية ودرامة حالة المتلقيات التناسلية الخاضعة لهورمونات خصوصية . والاعتداءات على حالة الحمل قد أتاحت تحديد العوامل التي تحفظه ، أو تقطعه أو تمدده . يبدو أن الحبل محكوم بالجهاز النخامي ، الجسم الاصفر والمشيمة ، وأهمية كل عنصر تختلف باختلاف الأنواع ولحظة الحمل .

إن تركيز الحمل (اللقط) (أو الاعداد للزرع ، والزرع ، ثم التشيّم) يخضع لاستعداد نخامي تحفيزي درست قيمته الكمية . وتصفية الحمل تبقى غير معروفة تماماً . والولادة مرتبطة بالتقبض المهبلي الذي يثيره افراز الجيوب (فولّيكولين) ويمكن أن يطلقها الافراز النخامي الامامي المسمى (اوسيتوسين) . ان الحشوة أو النسيج الضرعي ، يخضع ، في غزارته ، وفي اختلافاته ، للاعداد بفضل الهورمونات المبيضية .

تحديد الجنس عند الجنين ـ ان التجهيز التلويني الخلوي يختلف بحسب جنس الفرد : يوجد مخزون مزدوج تلويني (ثنائي الصبغة) في الخلايا البدنية ؛ ويوجد مخزون وحيد (فردي الصبغة) في الخلايا الجنسية ، بعد الخفض الصبغي . ولكن « صبغيات مختلفة متنوعة » تشكل ـ لدى أحد الجنسين (الجنس المذكر لدى الثدييات والانسان) ـ في الخلايا البدنية زوجين ، وحداتهما متخالفة (صبغات X و Y : ت . هـ . مونتغمري Montgomery ، 1901 ؛ ك . أ . ماك كلونغ ، 1901) ؛ إلى حد انه عند لحظة الخفض ، ترث هذه الخلايا الجنسية من احد الصبغين المختلفين (الامشاج المتنافرة) . وهكذا تصنف النطف البشرية ضمن مجموعتين بحسب تكوين الصبغي ، في حين ان البيضات تتشابه كلها (امشاج متشابهة) . ان « الميزان الوراثي » هو المسؤول اذن عن اعداد الجنس منذ التخصيب .

ولكن تغيرات الجنس ، العفوية أو التجريبية (في حالة تداخل الجذسين) تفيد ان النموذج الحقيقي لا يتطابق دائماً مع النموذج الموروث . ان الخلية البزرية ليست محددة بالضرورة من حيث جنسها بموجب تشكيلها الصبغي . ان « الميزان الوراثي » يعمل ، ضمن سلسلة من التأثيرات ، سواء على الخلية اللاوراثية (جِرْمِنْ) وعلى الخلية الوراثية (سوما) .

في سنة 1916 درس ف . ليّلي حالة التوأمين من جنس مختلف ، المربوطين الملتصقين بتفحمات مشيمية (فري ـ مارتنس لدى البقريات) . وتقدم الانثى تشوهات نسلية ، وتبدي بعد البلوغ ، سلوكاً غير سوي تتسبب به رسائل كيميائية تصل اليها من أخيها .

إن تجارب محققة على كل مجموعـات الفقريـات ، قد قـامت ، لدى كـل الاجنة ، بشكـل تطعيم الغدد التناسلية المتغايرة ، أو بشكل التصاق ، أو اخصاء ، أو اعطاء هورمونـات مسؤولة عن النشاط الذي يلي سن البلوغ . ولدى « الحيوانات الدنيا » ، تم الحصول على الانقلاب الكامـل ؛ ولـدى الـطيـور ان لا طبيعيـة مبيض على الشمـال وخصيـة على اليمين قـد تم ابتعـاثهـا . وعنـد الثدييات ، لم يتناول التحول أو الانقلاب الغدة ، بل المجاري .

مـا هي طبيعة هـذه الهورمـونات الجنينيـة ؟ بالنسبـة إلى ويتشي ، ان القشرين الانثـوي ، والافراز اللبي الذكري ، اللذين يبتعثان بفارق الغدة ، يختلفان عن الهورمونات الجنسيـة المسؤولة عن نمو المجاري التناسلية الاولية وعن السمات الجنسية الثانـوية . ويـرى جوست Jost (1934) ان الجنين يحدث افرازاً مختلفـاً عن افراز الـراشد ؛ ان هـذه المواد هي التي تـوجه تـولد العضـو عند الجنس الاولي . ويـرى أ . وولف (بحوث منـذ 1940) ان الهورمـونات التنـاسلية ، التي تتـدخل بخـلال الحقب المختلفـة في الحيـاة (الجنينيـة ، ومـا قبـل البلوغ وعنـد البلوغ) ، هي من ذات الطبيعة .

إن الخنثوية وشبهها يُفهمان من خلال حالتهما المرضية ، ويبرران الاستطبابـات العقلانيـة ، على أساس هذه المعطيات البيولوجية .

V ـ دفاعات الجسم

المنـاعة ـ ان المحـافظة على الحيـاة في الجسـد تقتضي ظـاهـرات دفـاعيـة ضـد العـوامـل الخارجية . ان ابتلاع الميكروبات، وهي عملية خلوية تصارع الميكروبات المولدّة لـلأمراض ، قـد اكتشف من قبـل أ . متشنيكوف Metchnikov سنـة 1882 . ان هذا المفهـوم حورب بشـدة من قبل بعض علماء البكتيريا ، المناصرين لنظرية مزاجية حول الافناء الميكروبي . وفي سنـة 1894 ، قدم ر . پفيفر Pfeiffer ، برهنة رائعة حول حقيقة هـذه الاوالية الثـانية (مجلد III) التي تـوضحت ، في مختبر متشنيكوف ، في مؤسسة باستور ، من قبل ج . بورديه ، بفضل توضيـح الخصائص المـزاجية المرتبطة ببعض مواد المصل المسمى المضـاد والمكمل (1895-1901) . والاولى خصـوصية ، ولكن الثانية غير خصوصية . وهذا الاكتشاف الذي يكمل اكتشاف الالتحام النوعي (م . غـروبر وهـ . أ . دورهـام ، 1896) ، واكتشـاف التشخيص المصلي (ف . ڤيـدال Widal ، 1896) (مجلد III) ، تبعه اكتشاف اثر انحراف المكمل (بورديه Bordet وو . جينغو Gengou ، 1901) ، من حيث يشتق بشكل خاص اثر بورديه ـ واسرمان Wassermann من أجل تشخيص السفلس (1906) .

نعـرف اليوم ان المضـادات تنتمي إلى مجموعـات الغلوبيلين . ويعد درس هـذا التشكيلات المؤثرة ، في الجسد ، كـردّ على الاعتداءات ، بحث علم المنـاعة المكـونات المضـادة للوراثة والمسؤولة عن تشكل المضادات .

وهـذه المضادات لا تنتـج عن تحول بـروتيني ، بل من تـركيب سريـع نوعـاً ما « جـديد » ، انطلاقاً من خلايا صغيرة . والمولد المضاد يغير التركيب بحيث ان الغلوبيلين المتكـون يمتلك هيئة

تتلاءم معه : انها نظرية « القالب » الكلاسيكية . والمولد المضاد يتدخل فيغير النظام الانزيمي في تركيب الغلوبيلين ؛ وهذا النظام ، المنتقل إلى الخلايا الوليدة ، يتسبب بذاته في أوالية مولدة للمضادات .

وقد تم حديثاً اجراء تجارب حول نقل طاقة تركيب وتشكيل المضادات ، عن طريق زرق خلايا في متلقٍ تكون فيه هذه الاوالية قد ركبت من قبل .

إن الاصل الخلوي للمضادات قد ربط على التوالي بالجهاز الشبكي ـ النسيجي ـ النووي ، ثم في النوى اللمفاوية ، ليستقر منسوياً في الأخير الى النوى البلاسمية . ان النظام الشبكي ـ النسيجي ـ النووي يتدخل مع ذلك ؛ وهو خصب جداً عند مستوى الطحال الذي ثبت دوره في المناعة ، دون التعرف على أوالية ذلك بالتمام .

إن المحور ـ النخامي ـ فوق الكليوي يتدخل لدى كل اثارة خارجية . انه عامل تصدٍ غير متخصص ، في الفرد ، وهو يلعب دوراً في أثر الانذار ، عند سِيْلِيِّ Selye (1950) . وهناك مبدأ يتدخل في المناعة الطبيعية ، هو البروبردين ، وقد اكتشف في الدم حديثاً .

مسألة التطعيم (الزرع) الحيواني ـ بعد اكتشاف سبب المناعة ضد اللاتوافقات بين دماء الانواع المختلفة من الثدييات (المضادات المتخالفة) ، اوضح القرن العشرون تدريجياً التضاديات الموجودة بين الافراد من نفس النوع (المضادات الفردية البشرية) . وأدّى هذا إلى رؤية مسألة التطعيم (الزرع) الحيواني : نقل جزء من عضو ، أما من فرد إلى فرد آخر من جنس مختلف (التطعيم المختلف) أو جنس مماثل (تطعيم متجانس) أو من نقطة إلى أخرى من نفس الجسم (تطعيم ذاتي) . ان عمليات التطعيم الذاتي ، المجراة حسب الاصول ، تأخذ دائماً ، مما يفسر نجاحها في الجراحة التقويمية البشرية . ولكن الامر يختلف في حالات التطعيم المختلف وحتى في التطعيم من فرد إلى فرد ضمن ذات النوع . وفي هذا الموضوع قدم القرن العشرون عدداً من الايضاحات :

لاحظ ل . لوب (1921-1930) ان الاحتمال والتقبل هما اكبر وأشمل لدى اللافقريات ؛ وتظهر ردة فعل فردية لدى الفقريات ، ابتداء من البرمائيات الراشدة . حتى في جنين الفقريات العليا ، لا يكون التطعيم ممكناً الا داخل النوع ذاته . « ان خصوصية النوع في الجنين ، سوف تصبح عند الراشد خصوصية فردية » (ر . م . ماي May . وعلى كلٍ ، من الممكن ان تُزْرَعَ ، عند الراشد ، أنسجة جنينية من نفس النوع (الزرع البرفوبلاستيك ، ماي ، 1934) .

والتنافر يكون أقل داخل نفس العرق النقي في الثدييات ، وبين التوائم الناشئة من اتحاد مشيجين بشريين ، وخصوصاً بين افرادٍ الجاه القربى . وقد استخدمت القُربى في محاولات التطعيم الكليوي سنة 1959 في بوسطن ثم في باريس .

والطعوم الميتة تقبل اكثر وبسهولة اكبر (ناجوتّ Nageotte, 1917) ، خاصة طعوم الاربطة والعظام التي تؤهل من جديد ؛ هذه الواقعة أتاحت تنظيم « بنوك العظام » المخصصة للتطبيب

الجراحي . وبعض المواضع تستجيب بصورة أفضل « لأخذ » الطعوم (الغرفة الداخلية في العين ؛ الخصية ، م . آرون ومعاونوه ، منذ 1953) .

إن « مناعة الزراعة أو النقل » (شوين Schoenne 1912,) هي التفاعلية التي تتسبب بتدمير الطعم الغريب سلالياً . وقدم ب . ب ميداور Medawar مساهمة جلّي حول الطعوم المتجانسة منذ 1943 . وعدم التقبل يبدو كردة فعل مكتسبة يظهرها جسم المضيف كلّه .

إن كل سبب من شأنه أن يفاقم ردات الفعل المناعية ، لدى المتلقي تجاه الطعم يقصّر من مدّة حياة هذا الطعم . وكلّ عامل يخفّض من ردود الفعل المناعية لدى المتلقّي ، يزيد مدة حياة الطعم (أشعة ايكس ، بعض الهورمونات ، زرق المولدات المضادات اثناء الحياة الهميلية [في الرحم]) .

لا يرفض المتلقي الطعم الا اذا تدخلت ردة فعل مناعية : ان التطعيم يجب ان يقدم المادة المولدة للمضاد وهذا الامر لا يتحقق عندما يكون التطعيم سابقاً على تكون الحُبَيْلَة (bréphoplastique) ، على المتلقي ان يصنع المضادات ، وهي قدرة ليست متاحة لا الى اللافقريات ولا لاجنة الفقريات .

إن « مولد مضاد النقل (الزرع) الذي قال به ميدَاور » هو خلوي ، لا بل نووي أيضاً . وبعد ان عزا اليه تركيباً يحرم النواة من الاوكسيجين désoxyribonucléique [مدمراً] ، اعطاه ميداور سنة 1958 طبيعة سكرية متعددة الجوانب . والى جانب مولدات المضادات التي تثير الحساسية ، هناك ما يحمي منها ، وهو المسؤول عن ظاهرة التيسير .

إن مولدات المضادات المتجولة لم يكن التثبت منها الا استثناءً ؛ في حين ان نقل الحساسية سهل الحصول بواسطة الكريات اللمفاوية ، ذات الوجود الضروري من أجل عملية الرفض والرد . هذه الوقائع أدت ، منذ عدة سنوات ، إلى تقريب الظاهرة من ظاهرة « التحسيس البكتيري ، المتأخر » . ولكن الحقيقة ربما كانت اكثر تعقيداً ، لأن المصل أيضاً يتدخل .

إن الفائدة الضخمة المتعلقة بهذه الاستقصاءات ترتبط بأمل تحقيق الطعوم الضرورية للإنسان من اجل تلافي التلف العضوي الخطير . وهذا الهدف لم يتحقق بعد ، رغم بعض النجاحات المشهودة ، والتي لا يمكن تقييمها بحق الا بعد فترة من الزمن .

وأخيراً ان علم السرطان التجريبي يحتاج إلى دراسة متمهلة لسلوك الاورام البشرية المزروعة بالحيوان . هذه الطعوم المتفارقة المختلفة المجربة منذ سنة 1890 (هانو Hanau ، مورو Moreau) تبدو وكأنها سلكت طريق النجاح ، سنداً لأعمال حديثة قامت بها الآنسة تولان Toolan .

VI ـ الفيزيولوجيا العصبية والحسية

في فجر القرن العشرين ، كان علم الاعصاب الفيزيولوجي في أوج نموه ، بفضل اعمال باحثين عظام امثال ش . شرّينغتون في بريطانيا وي . ب . پافلوف في روسيا وهـ . و . كوشنغ

Cushing في الولايات المتحدة ، ول . لابيك في فرنسا ، وك . غولجي Golgi في ايطاليا وس . رامون اي كاخال Ramón y Cajal في اسبانيا ؛ وهم باحثون كانوا بذات الوقت رؤساء مدارس . وبفضل عملهم وعمل تلاميذهم ومكمليهم ، تقدمت دراسة بنية وعمل الاعصاب والمراكز العصبية والاعضاء الحسية تقدماً ملحوظاً . وقد ساعدت نهضة التقنيات التجريبية ، وخاصة الالكترونيك في هذا التوسع السريع لمعارفنا في مجال مهم للغاية من مجالات البيولوجيا الحيوانية .

علم الانسجة والفيزيولوجيا العصبية ـ إن التفريق العصبي قد توضح تماماً في أواخر القرن التاسع عشر . ان نظرية الخلية العصبية ، التي حلت بوضوح محل « الشبكة العصبية» قد استوعبت تنظيم « الآلة العصبية » (لابيك) في اطار النظرية الخلوية . ان الاعمال الكلاسيكية التي قام بها غولجي ودي رامون اي كاخال قد أوضحت ، بواسطة تقنيات الوسم (التعليم) الفضي ، خيال هذه « الفراسات النفسية الروحية التي تعطي خفقات اجنحتها الفكر » . وكشفت الميكروسكوبية الالكترونية عن حقيقة الاعصاب الالياف .

وقد حلل القرن العشرون أيضاً وصنّف الخلايا العصبية في الدماغ والحبل الشوكي ، التي كان بعضها معروفاً قبل سنة 1900 : فضلاً عن النسيج والغشاء الداعم للجهاز العصبي névroglie épithéliale والدبق العصبي النجمي astroglie ، تمّ وصفُ تشجيرة oligodendroglie تتضمن أيضاً عناصر مهاجرة من الدماغ والحبل الشوكي (نفراكس) وميكروغلية (دبق عصبي دقيق) ذات قيمة نسيجية متوسّطة .

إن عمل النيرونات (الخلايا العصبية) امكنت ترجمته إلى لغة فيزيائية وكيميائية . ان موجة تفكك الضوء أو زخم العمل ، وهي ظاهرة كهربائية تميز مرور السائل الكهربائي ، قد درست جيداً في منتصف القرن التاسع عشر . وفي القرن العشرين اتاح التضخيم بواسطة لمبات التريود ومسجل الذبذبات الكاتودي تسجيل هذه الظاهرة السريعة .

بيّن ج . ارلانجر Erlanger وهـ . س . غاسِّر Gasser (1922-1929) وآ . ف . هيل Hill (1929) ، ول . لابيك (1939) وجود فروقاتٍ كبيرةٍ جداً توصيلية بين مختلف أنواع الألياف ؛ وهناك علاقة قائمة بين سرعة السائل وقطر الالياف . وقد أمكن القيام بدراسة كهرفيزيولوجية تتناول نوروناً واحداً (المحوريات (اكزون) العملاقة ، في عصب معطف كالمار ؛ العزل التجريبي ؛ استخدام الميكروالكترود) . واذا قطفنا التيارات المستحدثة بفضل مثير فيزيولوجي ، نلاحظ ، ليس موجة كما هو الحال بعد استثارة مصطنعة (كهربائية) ، بل قطاراً من الموجات (أ . د . آدريان 1926-1930 ؛ ي . زوطرمان) . ان كل خيط ليفي يعمل وفقاً لقانون « كل شيء أو لا شيء » . ان التغيير الكهربائي الذي ينتشر بالتدريج ، يتوافق مع استنفار للايونات . وقد تمّ التركيز على استحداث الظاهرة فوق خيط من حديد ، سالب ، مغطس ضمن حمام من حامض آزوتيك ضعيف ومحكوك سطحياً (عصب اصطناعي عند ر . ليُلي ، 1918) . وتُعتبر الظاهرة الايونية وكأنها تتم فقط عند مستوى اختناقات رانفيه Ranvier ، وعندها « تقفز » العملية من ضيق إلى ضيق (نظريّة التغيار الاحيائي) . وانه نحو السلم فوق الميكروسكوبي ـ عن طريق تحليل الغشاء

البلاسمي ـ تبدو المسألة متوجهة في الوقت الحاضر .

وقد قام نقاش حول موضوع الوصلات بين النورونات : هل هناك تجاور أم اتصال ؟ هناك تجربة كلاسيكية قام بها ك . بيت (1903-1907) حول هوائي كراب ، تدعو إلى النظرية الثانية . كما تدعو إلى صور الشبكة النهائية التي قال بها بُوْك Boeke . ان مفهوم التجاور بواسطة الاقتران الصبغي (سير تشارلز شرّنغتون ، 1898) الذي يرتكز على استقطاب الاتصالات المحققة من قبل رامون اي كاخال ، قد أعاد النرولوجيا (علم الاعصاب) ضمن اطار النظرية الخلوية الكلاسيكية .

فإذا كان السيتون (جسم خلوي) هو المركز الغذائي (آ . ف . والّر ، 1852) والوراثي (زراعات هارّيسون سنة 1907) ، فإن الزباط هو مفصل وظيفي . وركزت الميكروسكوبيا الالكترونية بنجاح على توضيح التنظيم الذي كان يقتضي ـ من اجل الفحص الميكروسكوبي ـ تقنيات اشرابية (وسمية) تخلق احداثاً مصطنعة محتملة ؛ وهي اليوم تفتش عن هذا الحد الدقيق حيث تكون فيه خليتان عصبيتان في حالة تجاور بواسطة رباطهما .

ويجدر أيضاً وضع ـ ضمن اطار الاربطة ـ اتصالات الالياف العصبية الطرفية بالمتلقيات الحسية وبالمستحيبات العضلية : ان تكون الصفيحة المحركة (المكتشفة في القرن التاسع عشر) قد تسبب بمجادلات على المستوى الميكروسكوبي .

إن الآثار الكهربائية ليست الوحيدة العاملة في مجال النشاط العصبي . فتدخل المراد الكيميائية(ادرينالين ، بعض مركبات البوتاسيوم ، استيل ـ كولين ، موسكارين ، ايزيرين) قد استُبق من قبل العديد من الباحثين (ج . ن . لانغلي ، 1901 ؛ ت . ر . اليوت ، 1904 ؛ و . هـ . هويل ؛ ر . هانت Hunt ، و . اي . ديكسون وف . هاميل ؛ هـ . دال ، 1914 ؛ الخ) .

في سنة 1921 ، قدم و . لُوي Loewi البرهان الحاسم حول دور الوسيطات الكيميائية في العمل التنظيمي للجهاز العصبي العضوي ، وأثر هذا العمل على الاعضاء الخاضعة له .

ان الالياف النظيرودية (شبه الودية) تعمل بواسطة الاستيل ـ كولين ، والالياف الودية تعمل بواسطة الادرينالين (و . لوي ، 1921-1924 ؛ هـ . دال وهـ . و . دودلّيّ ؛ 1929 ؛ وب . كانّون وآ . س . روزنبلوت ، 1931-1937 ، الخ) . نعرف اليوم ان الاستيل كولين يتدخل أيضاً في ايصال السائل العصبي ، ويعمل كوسيط بين العصب المحرك والعضل المخطط الارادي ، عند مستوى الرباط الذي يتمثل بالصفيحة المحركة (و . فلدبرغ وج . هـ . غادُوم ، 1933 ؛ الخ) . ان الادرينالين والاستيل كولين هما بالتالي الوسطان الكيميائيان للنظام العصبي .

إن الكيمياء العصبية تغطي اليوم مجالاً واسعاً يتضمن ليس فقط وسيطات النقل ، بل وأيضاً أواليات بيوكيميائية في العمل العصبي . وفيها نرى تدخل مولد الفوسفور (الفوسفاجين) وحامض آدينوزين ـ تري ـ فوسفوريك ، والفيتامين(B_1) ب 1 ، والكولينستيراز (لوي وأ . ناڤراتيل ، 1924-1926) .

المراكز العصبية ـ إن الدراسة التشريحية والنسيجية والفيزيولوجية لمراكز النشاط العصبي

قد تجددت تماماً ، فالنظام شبه الودي (النـظيرودي) درسـه و . هـ . غاسكـل Gaskell ، وج . ن . لانغلي Langley ، وشيـرُنغتـون ، ودال ولـوي ، ولابيـك ، وآ . ڤ . هيـل ،وو. ر. هسّ وج . ك . وايت ، الخ . . والحبل الشوكي كان أيضاً موضوع بحوث عديدة ومهمة . أما الدماغ فقد تتابع درسه في الاتجاهات الاكثر تنوعاً .

واذا كانت الدراسة التشريحية ، بخلال السنوات القريبة ، قد استعملت تقنيات جديدة فعالـة بشكل خاص ، مثل المصور الكهربائي للدماغ (الكترو- انسيفالو- غرام ، هـ . برجر ، 1929 ؛ آدريان وماتيوس ، 1934) ، فان تطورها عبر القرن مـوسوم بتـأثير بعض الاقـطاب امثال سيـر ش . شـرّينغتـون ، وهـ . كـوشنغ ، وأ . د . ادريـان ، وج . دوسّر دي بـارينّ ، في بريـطانيـا ، وك . برودمانّ وج . پ . كاريلوس ، وآ . كريدل ، وك . ايكونـومو ، وهـ . بـرجر في المـانيا ، ول . لاپيك ، وهـ . پيرون ، وج . فسّار في فرنسـا ، وهـ . كوشنـغ وو . فورستـر ، ولورنتودي نُوْ في الولايات المتحدة ، الخ . ان التقدم المحقق في دراسة تعقيد عمل الـدماغ وفي دراسـة المواضـع الدماغية مرتبط أيضاً بتقدم جراحة الدماغ[1] وبنمو الفيـزيولوجيا التجريبية .

الفيـزيولـوجيـا الحسيـة - في القـرن العشـرين ، صنفت المتلقيـات الحسّيـة إلى متلقيـات خارجية ، ومتلقيات داخلية ، ومتلقيات ذاتية ، وذلك بحسب ما اذا كانت النبضات المتلقـاة صادرة عن العالم الخارجي ، أو عن الاحشاء العميقة أو عن العضـلات . ان المتلقيات الخـارجية الاكثـر تعقيـداً ، الاذن والعين ، كانت مـوضوع دراسـات منهجية أدت إلى تـدرج توضيـح مسـائـل صعبـة فيزيـائيـة وبيوكيميائية وفيزيولوجية وسيكولوجية يطرحها تلقي الرسائل الحسية ، ونقلها إلى المناطق المتخصصة من الدماغ ، وتفسيرها النفسـاني .

في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، أتاح التقدم السريع في التشريح الميكروسكـوبي للاذن الداخلية (كورتي ، شولتز ، هلمهولتز ، هانس ، رتزيـوس Retzius ، هاسّ ، الـخ) وتقدم علم السمعيات النظري والتجريبي ، اشهار نظرية هلمهولتز . بحسب هذه النظرية ، يتحقق تحليل الاصوات في الاذن الداخليـة ، وبعد تلقي الـوتائـر المتنوعـة في نقاط معينـة ضمن الحلزون حيث الياف الطبلة القاعدة ، تتذبذب هذه الوتائر بالرجع تحت تأثير الاصوات التي تتـوافق معها ؛ وينقـل العصب السـمعي إلى الدماغ رسالة سبق تحليلها .

عرفت هذه النظرية نجاحاً واسعاً ، ولكن عدم كفاية المعطيات التجريبية أتاح صياغة نظريات منافسة (روذرفورد ، 1886 ؛ هورست ، 1894 ؛ ر . ايوالد Ewald ، 1898 ؛ م . ماير 1898 ؛ أ . تركويل 1900) رفضت بعضاً من مبادئها .

إن الدراسات المنهجيـة التي قام بهـا ج . فون بيكيـزي Békésy ، ابتداء من سنـة 1928 حول ميكانيكية الحلزون ، في بـادىء الأمر حـول نموذج ميكـانيكي مبسط ، ثم حول حلزونـات بشريـة ، قدمت معطيات ثمينة حول عمل الأذن الداخلية ، مؤكدة بشكل خاص على فرضية موضعـة الوتـائر ،

(1) انظر الفقرة VIII ، الفصل III من القسـم الرابع

انما داحضة فرضية الرجع أو الرنين . ان تقدم الالكترونيات قد أتاح مقاربة الدراسة من الزاوية الكهرفيزيولوجية .

اكتشف أ . ك . ويفــر وك . ڤ . بـراي Bray (1930) ، وف . لِيْـريْ Leiri (1935) الاثــر المكبر للصوت في الحلزون ، الذي أتاح تحليلُه حلَّ مسائل متنوعة كانت معلقـة ، موضحـاً بشكل خاص الدور التحليلي للاذن الداخلية ، ومثبتاً بالتجربـة ، موضعـة الوتـائر المختلفـة (تاسـاكـي ، دافيس وليغـويكس) . ان دراسـة زخم عمـل العصب السمعي (دربيشـاير ودافيس ، 1935) قـد اجريت على نورون وحيد (غالامبوس ودافيس ، 1943) ، في حين ان تنتوري قـرر وجود مـوضعة صوتية في السطح السمعي الدمـاغي لدى الكلب . ان نـظرية القفـزة Volée التي وضعها أ . ويفـر Wever ، تحاول أن تفـسر هذه المعطيـات المتنوعـة الحديثـة . وهكذا ، وبـأقل من نصف قـرن ، حققت نظرية السمع تقدماً مهماً جداً .

إنما ، بواسـطة القنوات نصف الـدائريـة ، تشكل الاذن الـداخلية أيضـاً مركـز حس التوازن (فلورنس ، 1830 ؛ ر . ايوالد ، 1895) . وقد أوضح العـديد من البـاحثين هذا الــدور ، خاصـة ر . باراني الذي حقق أعمـالاً مهمة حـول الفيزيـولوجيـا وحول علم أمـراض الجهاز الدهليزي[في الاذن] (1905-1911) .

وتجب الاشـارة أيضاً إلى التقـدم الملحوظ المحقق في مجـال فيزيـولوجيـا النطق ، بفضـل تجريب اكثر منهجية ، مرتكز على استعمال تقنيات القياس والتسجيـل ، التي يتزايـد كمالهـا (آ . موزيهولد Musehold ، 1898 ؛ أ . بارت وأ . غرونماك ، 1907 ؛ ف . ترنديلنبورغ ، 1924 ؛ ر . هوسون ، منذ 1945 ، الخ) .

وحققت فيزيولوجيا الابصار تقدماً أيضاً . ان تطور الكهرفيزيولوجيا البصرية قـد كان ملحـوظاً بشكل خاص .

إن تقنية التسجيل الكهربائي (ف . غـوتش ، 1903 ؛ آ . بروسّـا وآ . كوهلروش ، 1913) قد استفادت من تقدم الالكترونيك . ان الظاهرات الكهربائية التي ولدتها اضـاءة العين قد لـوحقت منـذ الشبكية (الكتـرودات متناهيـة الصغر ادخلت في اعمـاق متنـوعـة : ر . غـرانيت) ، إلى أن وصلت إلى العصب البصري (أ . د . آدريان ور . ماتيوس ، 1927- 1928 ؛اتسجيــل تيار العمـل فوق شبكة عصبية مفصولة عند الضفدع (هـ . ك . هارتلين ، 1938-1940) وفـوق ليفة فـردية عند النقاب (الليمول)) ، وفي قشرة الدماغ البصرية (دي ڤالوا ، 1958) .

وخصصت بحـوث مهمة حـول الاحمر الشبكي ، وهي مـادة تتلقى الضوء ، استخلصت من العصبيات من قبل و . كوهني Kühne (1878) .

وتبين حديثاً ان الفيتامين (A) آ هو نقـطة انطلاق تشكـل هذا الاحمـر (رودوپسين) وكذلـك تشكل مواد مجاورة قريبة يمكن أن تدخل في عملية الابصار لدى بعض الحيوانات (روشتون ، و . د . رايت ، ر . آ . ويــل) . ونجـح هـ . والــد في تـركيب الراودوپسين واعـاد دورة الضــوئيـة

الكيميائية . ان أوالية توليد الكهرباء ، وهي ممر عملية الضوء الكيميائي إلى الاثارة العصبية ، قد درست من قبل والد وك . ر . براون ولكنها ما تزال غير معروفة بصورة جيدة . ان رؤية الالوان ، المفسرة وفقاً للنظرية الثلاثية [أزرق ، أحمر ، أصفر] التي وضعها يونغ ، يُبحث عنها اما في تخصص المخروطات ، واما في امتصاص لمختلف الاشعاعات ، في أعماق مختلفة (ج . فون كريس ، و . آ . ناجل ، و . اوستولد ، و . س . ستيلس ، ي . لوغران ، و . د . رايت ، الخ) .

وهناك مظاهر أخرى للابصار الفيزيولوجي وضعت فضلاً عن ذلك[1] ، ونكتفي نحن بالتذكير بالبحوث المهمة التي قام بها آ . غولستراند (1900-1911) حول عمل العين الابصاري ، والتضبيط ، وعيوب البصر ، كما نذكر ببحوث ك . فون هسّ حول التضبيط ، وبدراسات هـ . بيرين ، وبدراسات أ . بومغاردت Baumgardt حول التفسير الكمي للعتبات الابصارية ، وبالاعمال الكاملة التي قام بها ر . غرانيت ، س . بولياك ، هـ . ك . هارتلين ، الخ .

الانعكاسات ـ ان المعارف حول الانعكاسات قد تقدمت كثيراً بخلال القرن التاسع عشر (مجلد III) . وبعد ان كان بل Bell وماجاندي Magendie قد أوضحا القيمة النسبية للجذور الشوكية الظهرية والبطنية ، اثبت لونجيه Longet ، وبفلوجر Pfluger ، وش . ريشيه Richet ، قوانين الانعكاسات النخاعية . ان المعطيات الشكلانية التي قدمها أخيراً رامون اي كالخال ، أدت إلى تمثل حلوي للظاهرة بوصف القوس ذي النورونات الثلاث . من السهل تصور سلاسل اكثر امتداداً ، وترتيبات أكثر تعقيداً ؛ خاصة وان سبل التوصيل المحورية الداخلية وفيزيولوجية المراكز قد أصبحت معروفة بصورة أفضل . وأخيراً ان مفهوم الاقتران (الرباط) (م . فوستر وش . شرّينغتون 1897) يقدم المفهوم الذي يتيح فهم الوصلات بين النورونات والسلاسل . واستخدمت هذه النتائج كأساس للدراسات التجريبية . في القرن العشرين ، تمّ تحليل تفاعليات التجسم (Sommation) ، والحقبة المستعصية ، والاعاقة . وركزت مدرسة شرّينغتون البريطانية على الانعكاسات التي تتحكم بجمودية الفرد وبوضعه .

إن الانعكاس الانقباضي عند أ . ج . ث . ليدّل وشرّينغتون (1904) هو ردة فعل تقليصية من العضلات الباسطة للاطراف ، كجواب على تمددها . ونلاحظ هذا في القساوة التي تعقب نزع الدماغ التجريبي . ويزول التقبض عند قطع الجذور العصبية الظهرية . انه انعكاس تابع ، غايته مقاومة أثر الجاذبية الأرضية . وقساوة نزع الدماغ ليست مظهراً من مظاهر الإثارة : انها تتأتى من تحرير بعض المراكز البصلية ـ المخية النافرة ، وخاصة النوى الممراتية ، من الاوامر العليا الصادرة عن القشرة الدماغية ، وهذا التحرر يمكن تحقيقه بالقطع عند مختلف المستويات ؛ مما يؤدي إلى نتائج متنوعة . ويميز ر . ماغنوس نزع الدماغ الأعلى ، وفيه تكون الانعكاسات التصويبية موجودة ، عن نزع الدماغ الأسفل ، حيث تنعدم هذه الانعكاسات .

---

(1) راجع الفصل V ، القسم الثاني .

الانعكاسات الشرطية ـ ان أعمال ي . پ . پاڤلوف (1849-1936) قد اكتسبت شهرة لها ما يبررها بفضل الضوء الذي ألقته على الاواليات الاسمى في السلوك ، بل وفي النفس . فمنذ سنة 1902 ، توصل پاڤلوف ـ الذي جُرَّ إلى هذه المسائل بفضل أعماله حول فيزيولوجيا الهضم ـ إلى تصور واضح لأهداف البحث الذي كان يشغله منذ أربعة وثلاثين عاماً .

ان عمل الاعضاء ، التي تبدو بدون أهمية ، مثل الغدد اللعابية ، يتسرب بدون وعيٍ منا في النشاط النفساني عن طريق الاحاسيس والشهوات والافكار التي تؤثر بدورها في عمل الغدد بالذات .

وبمناسبة منحه جائزة نوبل سنة 1904 ، قارن بين الافراز الانعكاسي المعتاد للُّعاب وبين الافراز اللعابي المستثار باثارة متلقيات أخرى . وبفضل پاڤلوف ، وبفضل تلامذه وأتباعه كان لهذه الطريقة أهمية متزايدة في مجال علم النفس الفيزيولوجي .

إن الانعكاسات الشرطية والمكتسبة تتعارض مع الانعكاسات الخلقية الوراثية أو غير المشروطة ، والموجودة لدى كل الافراد ، موروثة ومرتبطة بسبل عصبية مقررة سابقاً ، في حين ان الانعكاسات المكتسبة تتميز بعدم استقراريتها .

وتُصنف الانعكاسات الشرطية كحوافز (أو ايجابية) اذا تسببت بانعكاس أو تكون كابحة(أو سلبية) ان هي ازالت الانعكاس . وتستخدم لدراسة حدود الحساسية في الاعضاء الحسية لدى الحيوانات : ويدمج الانعكاس الشرطي مع التدمير الموضعي في الجهاز الحلزوني ، يمكن التوصل إلى تحديد تجاه أي الأصوات يكون الصمم .

لقد تم درس الاواليات العصبية في الانعكاسات الشرطية . وخاصة ضرورة سلامة القشرة الدماغية ، وذلك عن طريق استئصال جزئي ومخصص أو كاملٍ . ان بعض المواد (كالكافيين ، والستريكنين) تزيد في زخم الانعكاسات الايجابية وتنقص من السلبية ، طيلة مدة أربع وعشرين ساعة تقريباً ؛ ويزيد البرومور السلبية لمدة يومين أو ثلاث .

البيوسيبرنيتية والفيزيولوجيا العصبية ـ ان اصول السيبرنيتية [علم التحكم والضبط الآليين] قد درست في موضع آخر[1] ، إنما نذكر هنا فقط بالاتصالات بين هذا العلم وبين البيولوجيا (أو علم الاحياء) . يرى السيبرنيتيون ان علمهم يشتمل ، ضمن نفس التركيبة التفسيرية ، على الآلة الاصطناعية . ان السيبرنيتية تمكنن المسائل العصبية ، وبين الجهاز العصبي أمثلة موجزة عن التنظيم الذاتي بواسطة «التغذية الارتجاعية » (feedback) . ان المماثلة الوظيفية مرتبطة بمماثلة في البنية . والفرد ينظم عمله بناء ووفقاً للمعلومات التي يتلقاها . ويُسْمح بالتصور ان بعض المفاهيم العقلية تتوافق مع ترتيبات صورية في اعضاء التفكير . وهناك مثل مقنع يقدمه ن . وينر Weiner : ان جهاز مك . كولوش ، الذي يتيح للعميان القراءة ، يحتوي على ترتيب (تنظيم) كهربائي يتطابق مع القشرة الرابعة في القشرة البصرية البشرية .

---

(1) راجع دراسة ف . لوليونّيه في الفصل IX من القسم الأوّل .

البيولوجيا وعلم النفس

نذكر أخيراً : ان جسراً قد قام بين البيولوجيا وعلم النفس . ان هذا العلم الأخير لم يعد فقط استبطانياً . فقد استعملت فيه طريقة « السلوكية » (behaviorisme) التي وضعها ج . ب . واطسون[1] ، والاساليب التطبيعية عند الحيوان المرتبطة بالانعكاسات الشرطية والروائز الدالة على الذكاء عند الثدييات وعند الانسان . وتم توضيح العوامل العضوية ، وخاصة الهورمونية ، المؤثرة في السلوك .

هناك علوم كثيرة قد ولدت ضمن هذا الاطار ، اطار علم النفس الفيزيولوجي : علم نفس الاحساسات ، علم النفس الحيواني ، علم النفس التجريبي، وعلم الطبائع ، الخ . وظهور هذه المجالات العلمية يؤكد على طموحات الطريقة البيولوجية التجريبية التي تتصدى الآن للاوالية النفسانية لدى الانسان العالم (homo Sapiens) .

(1) مختلف مظاهر علم السلوك في الفقرة IX ، الفصل III من هذا القسم .

الفصل الثالث

الزوولوجيا
أو علم الحيوان

تشمـل دراسة علم الحيـوان حقلاً واسعـاً : إن الدراسـة المفصلة للحيـوانـات تشمـل ، ليس الشكل (مورفولوجيـا) ولا التشريـح (اناتـوميا) ولا علم الـوظائف (فيـزيولـوجيا) ، ولا الجنس ، والنمـو ، وعلم الأجنة ، والمنهجيـة ، فقط ، بل تشمـل أيضاً البحـوث البيئية (ايكـولـوجيـا) وعلم العادات والسلوك (إيتولوجيا) . والبحوث البيئية تحلل شـروط الحياة في المـدى الجغرافي والثـانية أي علم العادات والسلوك تحلل سلوك الحيوانات وعلاقاتها المتبادلة . ودراسـة علم الحيوان عـرفت تجديداً براقاً بعد فترة من التراجع المؤقت ، سببته منهجية بالية ، ساعدت على تـوجيه الأعمـال نحو مجالات عملية أخرى .

I ـ طرق وتنظيم البحث

إن تحسين مختلف التقنيات ، الذي بدأ في القرن التـاسع عشـر ، قد استمـر بخلال القـرن العشرين ؛ فضلاً عن ذلك قدّمت بعض الاكتشافات وسائل جديدة لـلاستقصاء بـدت دقيقة بشكـل خاص .

علم الفحص المجهري (ميكروسكـوبيا) والتقنيـات المتجمعة ـ إن الميكـروسكـوبيا قـد حققت تقدماً عجيباً وهذه بعض مراحلها .

حقق ف . أ . ايفس Ives (1902) ميكروسوبـاً (مجهراً) ثنائي العينية . إن الميكـروسكوب المتفوق الذي وضعه « سِيِدنتوفَ ـ زيسموندي » (1903) أتاح تمييز جزئيات من عيار 0,004 μ . وفي سنة1904 بيّن و . كوهلر من يينا Iéna أن الخلايا الحيوانية يمكن أن تصور فوتوغـرافيا بـاشعة فـوق البنفسجيـة ؛ وقدمت هـذه التقنية التي حققهـا ج . أ . بـارنـارد (1925) خـدمـاتٍ جُلّى في دراسـة البكتيريا . إن هذا الميكروسكوب ، ذا الضوء فـوق البنفسجي ، الذي حسّنـه كاسبـرسون (1936-1955) أتاح تقدير معايير الحوامض النووية . واستخدمت الميكروسكوبيا ذات الضـوء المكثف من قبل و . ج . شميدت وتلامذته سنة1924 في فحص الخلايا والانسجة الحيوانية .

وظهـر ميكـروسكـوب تبـاين السطور (زرنيــك ، 1938) فـأتــاح فحص خليـة حيـة في

ظروف جيدة جداً كما الخلية المثبتة والملونـة . ولكن الثورة الكبـرى في القرن العشـرين كانت في اختـراع المجهريـة الالكترونيـة التي تُمكنُ من تفحُص البنيات المتنـاهيـة الصغـر من الخـلايـا ، وبالتالي ، أدت إلى اعادة النظر في علم الخلايا وعلم الانسجة .

إن الفحوصات الاولى للاشياء البيولوجية بواسطة الميكروسكوب الالكتروني تعود إلى حوالي سنة1932 . ولكن انجاز تقنيات دقيقة ، والحصول على شطائر لا متناهيـة الرقـة (100 Å) تعود فقط إلى سنة1952-1953 . إن الاعمال الحالية في مجال الميكروسكوبيا الالكترونية ، العـديدة جـداً ، تنقل الملاحظة إلى المستوى الخلوي .

السينمـاتوغـرافيا - (التصويـر السينمائي) - في سنـة1904 قـدم آ . بيـزون Pizon أول فيلم حيواني مسجل على بوتريلُّلوس . وعرفت السينماتـوغرافيـا ، بعد ذلـك ، تقدمـاً عجيبـاً . وتسـريع عرض الظاهرات بنسب تتراوح بين 30 إلى 6000 مرة ، أتاح رؤية حركـاتٍ مبطـأة للغايـة . وبفضل التبطيء أصبحت الحركات السريعة خاضعة للتحليل .

وفيمـا بين 1910 و 1939 ، قـام رواد (ج . كـومانـدون ، أ . فـوري - فـرميت) Fauré-Fermiet ، ج . بانليڤيـه ، ج . جـولي في فـرنسـا ، م . ر . وو . هـ . ليـويس ، في اميـركـا) باكتشاف وقائع مهمة كانت حتى ذلك غير مرئية . وأتاح ميكـروسكـوب « تباين الطور » ، المدموج بالتصوير السينمائي (سينماتوغرافيا) ، رصد حركات الخلايا وداخل الخلايا . ومنذ سنة1950 شـاع استعمال هذه التقنية إلى حد بعيد .

إن الافلام العلمية ، بالاسود والأبيض وبالالوان قد انتشرت بشكـل واسع ومظاهر الكـائنات الحية اللامعدودة تلتقطها الكاميرا التي تُعتبر وسيلة قوية من وسـائل التحليـل والاستقصاء ؛ إن أفـلام ج . بـانليڤيه ، وفـون فريش وك . لـورنز ، وكيلُوغ ، وغـراسي ، ودراجنـكـو ، وكثيـر غيـرهـم ، أصبحت كلاسيكية .

التشريح المجهري - بخلال هـذه السنوات الاخيـرة ، تقدمت تقنيـات الوسـائل التكبيـرية . ومنذ سنة1924 ، درس تشـامبرس بنيـة الخلية البـلاسمية بـواسطة التشـريح المجهـري ، وفي سنة 1912 ، اخترع تشاشوتين Tshachotin تقنية الثقب المجهري ، لاتلاف منطقة صغيرة خلوية بواسطة شعـاع ميكرو من الضـوء فوق البنفسجي . ومن أفضـل الآلات الميكروسكـوبية الاستعمـالية ، مـا وضعه ب . فونبرون سنة1939 . وفي سنة1955 نشر كـوباكس دراسـة لمختلف انماط المعـالجات الميكروسكوبية ، وما فيها من إمكانات تجريبية .

تقنيات التحليل الفيزيائية والبيوكيميائية - إن هذه التقنيات المختلفة قد عرفت نمواً غنيـاً وتقنية النظائر المشعة أو المسجلات الاشعاعية الكاشفة لـلامتناهي الصغـر تستحق انتباهـاً خاصـاً (راجع القرة II ، الفصل XI من القسـم الثاني) .

واستعمـال النـظير الاشعـاعي النـاشط يتيـح ، كمـا هـو معلوم ، الاشـارة إلى وجـود بعض الـذرات ، وتتبع مسـارها داخـل الجسم ، ثم اكتشاف تموضعها بفضـل عداد جيغـر Geiger ، أو

بفضل الطريقة التصويرية الذاتية بالراديو (لاكاسانيه Lacassagne ولاتس Lattès 1924) . إن هذه الطريقة الاخيرة تقوم على الصاق ـ فوق الصفيحة الفوتوغرافية ـ العضو أو النسيج المعالج بواسطة النظير ؛ والتصوير الاشعاعي للانسجة ، يظهر الخلايا التي ثبتت والتي لم تثبت النظير الاشعاعي . وتعداد الحيوانات هو ممكن أيضاً ، وبالامكان تتبع الحشرات والطيور في تنقلها . والعودة إلى العش يمكن أن تتأكد بواسطة خيط رفيع من الكوبالت المشع تثبّت في الجسم .

هناك طريقة أخرى غنية بالتطبيقات هي التصوير التلويني (الاستشراب) [1] . ويجدر ايضاً أن نشير إلى االطرد الفائق والترشيح الفائق ، وإلى الاسترشاد الكهربائي [هجرة كهربائية للدقائق المعلّقة] ، (استرشاد فوق الورق ، في أوساط مخثرة مجمدة ، واسترشاد للدقائق تدفقي) ، وإلى المطيافية الامتصاصية ، وإلى التسجيل الطيفي وإلى القياس الضوئي ، الخ .

إن عدد التفاعلات الكيميائية حول النواة وحول الانسجة قد تزايد . وهكذا تكون علم كيمياء النواة وعلم كيمياء الانسجة . ومناهجهما معروضة ومناقشة في كتب د . غليك (1949) وآ . ج . بيرس (1953) ول . ليزون (1953) .

ونذكر أيضاً التقنيات الجنينية لزراعة الانسجة والاعضاء التي سبق عرضها .

اطر الجهود الجماعية ـ أضيفت إلى الجمعيات المتخصصة التي انشئت في القرن التاسع عشر ، جمعيات جديدة تتوافق مع المجالات العلمية الحديثة : علم الوراثة ، قياس الحياة ، استكشاف المغاور ، الجغرافيا الاحيائية، الخ . وتابعت المؤتمرات الدولية الكبرى دوراتها ، وجمعت مشاركين يتزايد عددهم ، في حين عقدت ندوات كثيرة .

شارك في هذه الاجتماعات حوالي عشرون من الاختصاصيين الدوليين اجتمعوا من أجل عرض المفاهيم المتوفرة حول موضوع محدد تماماً . ويؤدي عرض ومناقشة التقارير إلى تبادل الافكار بشكل مفيد جداً ، في حين يقدم الاستنتاج عرضاً دقيقاً للموضوع المعالج . هذه الجلسات العملية ضمن لجان ضيقة متكاثرة ، تقدم صيغة أكثر انتاجاً من الصيغة التي تقدمها المؤتمرات الدولية .

وحلت البحوث الجماعية محل البحث الفردي بصورة متزايدة ؛ أخذت مؤسسات قومية ودولية (الاونسكو ، ومنظمة الصحة العالمية ، ومؤسسة روكفلر ، الخ) توجه البحوث ، وتتحكم بمناسبة تسريع معالجة مسألةٍ ما ، فتكلف مجموعة من العلماء بدراسة موضوع محدد ، وتوزيع المساعدات . وساد مفهوم جديد في إقامة حدائق الحيوانات .

إن اعادة تكوين المدى الجغرافي الطبيعي الصحيح ما أمكن يوحي بأن الحيوان يعيش حياة حرة ؛ في هذه الحدائق ، تتناسل غالبية الانواع . إن المحايي [أمكنة للمحافظة على بعض

(1) انظر الفقرة IV ، الفصل XI من القسم الثاني .

الحيوانات الحية في وسطها الطبيعي] ، ومرابي المائيات (أكواريوم) أخذت تتكاثر ؛ إن الظروف الممتازة (ضوء ، درجة حرارة) المحققة فيها تساعد على حفظ الانواع الصعبة .

إن الادب الزوولوجي (الحيواني) ككل الادب العلمي ، يشكو من التضخم ؛ فقد تكاثرات المجلات المخصصة بوتيرة متسارعة . وقد جرت عدة محاولات لتحرير « موسوعة حيوانية » .

منذ 1959 ، شرع الالمان في نشر (Bronn's Klassen und Ordnungen des Tierreichs) وهي موسوعة عظيمة لما تنته بعد في حين أن المجلدات الأولى ، قد نفدت . في سنة 1925 ، وضع كوكنتال تصميماً لمؤلف ضخم « كتاب علم الحيوان » ؛ وتوقف نشره بخلال الحرب العالمية الثانية وهو مستمر الآن ، إنما بوتيرة بطيئة جداً للاسف . وفي انكلترة ، من سنة 1895-1905 ، نشر هارمر وشيبلي « التاريخ الطبيعي لكامبريدج » في عشرة مجلدات . إن هذه الموسوعة البدائية نوعاً ما ، تمتاز بانها انتهت . أما مشروع « موسوعة علم الحيوان » الموضوع سنة 1900 بهمة راي لانكستر ، فقد ترك بعد نشر عدة كراسات . في فرنسا قلما كانت محاولات بداية القرن ناجحة . فقد قام ديلاج Delage وهيروار Hérouard بتدوين « موسوعة حيوانية مختصرة » نشرت منها ستة مجلدات ، متقنة التصاوير (1896-1903) . وتحت اشراف ر . بلانشار ، تمّ نشر « موسوعة علم الحيوان » ، ولكن من أصل ستة وعشرين كراساً مرتقباً ، نشر فقط كراسان (1897) . ورغم أنها ليست من المرتبة الكبرى ، فإن موسوعة الزوولوجيا ، في ستة مجلدات ، التي وضعها إد . ور . پيريه (1893-1899) ، ظلت لمدة تزيد عن الاربعين سنة الموسوعة الزوولوجية الاساسية . ومنذ 1948 ، هناك موسوعة زوولوجية حديثة ذات منحى تطوري ، هي قيد النشر تحت اشراف پ . پ . غراسي ؛ ويشارك متخصصون فرنسيون وغير فرنسيين في هذا العمل الذي يتضمن تصميمه 17 مجلداً من الف إلى 1200 صفحة (والعديد من المجلدات يحتوي على كراسين أو ثلاثة كرّاسات كل منها يحتوي على ألف صفحة) ؛ إن بعض المجلدات لم تصدر بعد ، ولكنها جميعاً قيد التحرير : ونشر العالم بالحيوان البلجيكي آ . لامير Lameer موسوعة زوولوجية من سبعة مجلدات (1929) ، لم تقدر اصالتها حقّ قدرها حتى الآن .

II ـ المفاهيم الجديدة في علم الحيوان (الزوولوجيا)

التصنيفات الزوولوجية ـ إن غنى النوع الحيواني قد تزايد بشكل ضخم ؛ في سنة1952 كان عدد الأنواع الموصوفة يقدّر بأكثر من مليون . واستفادت دراسة الأنواع القديمة والجديدة من التقدم التقني . وكانت البنيات التشريحية ، والفيزيولوجيا ، والجنس والتناسل ، والنمو عند الكائن الفرد موضوع فحوصات معمقة وهكذا ارتسمت انماط هندسية هيكلية . ويعبر التصميم التنظيمي المتناسق عن القربى الحقيقة بين الأنواع وتأكدت أو انتفت أوجه الانتساب بين المجموعات . وأثر هذا التقدّم على المنهجية ؛ فبدلاً من التصنيفات القديمة الزائلة ، حلت ، بصورة تدريجية ، تصنيفات حديثة ، متطورة ؛ ترتكز على النسالة (مبحث تكوّن الانسال وتطورها) ؛ وقد عبرت عن الاشتقاق بين الاشكال الحيوانية ، بعضها من بعض ، وعن تتابعها بالتوالد .

ومثل تصنيف الحشرات معبر بهذا الشأن . فمنذ سنة1758 (الطبعة العاشرة من « سيستيما

ناتورا » : النظام الطبيعي) الذي وضعه ليني Linné ، تم وضع أكثر من خمسين تصنيفاً انطلاقاً من سمات مختلفة ، غالباً ما تكون بنية الاجنحة أو الاعضاء الفمية . وهكذا وضعت جنباً إلى جنب مجموعات لا يوجد بينها أية رابطة قرابة فعلية . وبخلال القرن التاسع عشر ، أصبحت التصنيفات المقترحة أكثر إرضاء (لاتريي Latreille 1831 ؛ بورميستر Burmeister ، 1835 - 1838) . وسجل تصنيف براوير Brauer (1885) تقدماً محسوساً . فقد فصلت اللاجناحيات عن المجنحات التي لها اجنحة أو التي فقدت اجنحتها فيما بعد . وادخل بورنر تحسينات على تصنيف برويير سنة 1904 ثم جاء هنذليرش يكمل عمل بورنر سنة 1908 ؛ وكان هنذليرش إحاثياً ، ورغم ذلك لم ينجح في وضع تصنيف يشمل بآنٍ واحدٍ الحشرات المتحجرة والحشرات الحالية . والمحاولات الاكثر جدة (ر . ج . تيليار ، 1930 ؛ آ . لاميير 1931 ، ب . مارتينوف 1938) شملت أخيراً الحشرات المتحجرة والحية .

والأمثلة قد تتضاعف إلى ما لا نهاية . وعلى فترات متفاوتة من حيث طولها ، تمّت مراجعة التصنيفات وأجريت عليها إمّا تعديلات طفيفة ، إمّا تغييرات عميقة . فمن الصفوف ما كان لا يتضمّن أكثر من فصيلة واحدة أصبح يحتوي ثلاثاً أو أربع ؛ واستُحدثت رتبة جديدة . ولم تسلم الفئات العليا من حيث التراتبية من التغيير . فمن التشعّبات أو التفرّعات القديمة ما فقد قيمته في الواقع لأنّه يجمع بين مجموعات لا نسب بينها ؛ ثمّ أنّ هذه التسميات القديمة يجب أن تزول ، حتّى من الكتب المدرسية .

استُبدل فرّع معائيات الجوف الكبير الذي كان يضمّ اللاسعات والمشطيات بشعبتين ، شعبة للاسعات وأخرى للمشطيات ، وهما متميّزتان رغم التقارب بينهما . كذلك انقسمت مجموعة الحيوانات الحزازية (الطحلبية) إلى صفّين : صف خارجيات الشرج أو الحزازيات s.s.t. وصف داخليات الشرج أو الحيوانات اللدنة . وتشكّل هذه الأخيرة صفّاً متفرّداً . وكانت الجسريات التي تجمع المزماريات ، وأفعويات الذيل ، والقضيبيات تشكّل مجموعة مصطنعة كلياً لم تعد موجودة اليوم : فالمزماريات وأفعويات الذيل والقضيبيات هي شعب مختلفة ؛ حتّى انّ لشعبة القضيبيات القليل القليل من التجانس مع الشعبتين الأخريين . كذلك ، كانت الدوديات التي صنّفها ديلاج وهيروارد تتضمّن سبعة صفوف وتشكّل مجموعة متنافرة تماماً .

وألحقت الخطيات ، وهي أحافير بحرية من العهد السيلوري ، بالهيدريات ؛ وقد سمحت الدراسات التشريحية على عيّنات محفوظة جدّاً في الصوان للعالم كوزلوسكي Kozlowski (1938) أن يثبت تآلفات هذه الحيوانات مع الرابدوبلورا (عصويّة) من صفّ ريشيات الخياشيم (شعبة من الفمويات stomocordés) .

وتأسيس هذه الفئات المنهجية نادر ، وتزداد ندرته كلما ارتفعت مرتبتها التسلسلية ؛ والاجناس الجديدة كثيرة جداً ، والاصناف الجديدة فيها كثيرة أيضاً ، أما الرتبات والصفوف والفروع الجديدة فهي تزداد ندرة .

وكان أول أمامي ذيل ، وهو النموذج الاصلي لهذه الفئة ، قد اكتشف ، ووصف من قبل سيلفستري سنة1907 . أما رتبة السلبوجيات فقد أنشئت من قبل سيلفستري Silvestri سنة1913 ؛ أما

الاشكال المجنحة فقد عرفت فقط سنة1918 بفضل كوديل Caudell ، والذكور المجنّحة رُصدت سنة 1926 من قبل كارني Karny . وعرّف ج . ك . كرامبتون رتبة الزعنفيات الظهرية (1915) لفصيلة دُرست سنة1914 ؛ ودخلت في هذه الرتبة فصيلة ثانية اكتشفت سنة 1924 . سنة 1940 وضع أودهنر Odhner صفّ الرخويات أحاديات الصفيحة لمجموعة من الرخويات القديمة ؛ وأكّد اكتشاف رخوية جديدة هي Neopilina Galatheae (1952) استقلالية هذا الصف الذي يقدّم بعض العلاقات مع الرخويات متعدّدات الصفائح والمستقلّ عن الرخويات معديات الأرجل .

وهناك فرع جديد هو فرع حاملات اللحية وهو قد أنشئ سنة1944 من قبل ڤ . ن . بيكليميتشيف . ويدل تاريخه على الصعوبات المعترضة في مثل هذه الحالات .

فضلاً عن ذلك بقي موقع بعض المجموعات غير مؤكد .

إنّ التآلفات بين شائكات الرأس ، والقضيميات ومدرّعات الفك ما تزال غامضة ويتغيّر موقعها في التصنيف العام حسب الصفات المدروسة . والنيمرتيات التي ألحقت طويلاً بفرع الشريطيات حصلت على ترقية ؛ ورغم أنّ تقاربها ما يزال موضوع نقاش فالاتّفاق شبه إجماعي لجعلها فرعاً مميّزاً .

وهكذا ترتدي المنهجية ، وهو علم دائم التغير ، تقلبات وتغيرات دائماً ، ومع ذلك فإن الخطوط الكبرى للتصنيف الحالي أخذت تتوحد وتستقر . وما تزال هناك فروقات تفصيلية ولكنها تهم الاختصاصيين . هذا الاستقرار ، المدعوم بوقائع علمية مقررة ، يتيح تصور شجرات انساب غير عشوائية .

شجرات الانساب ـ إن شجرة النسب هي تصوير يبرز العلاقات التسلسلية بين الحيوانات ، كما تظهر تواريخ ولادتها وتترجم ، بالتأكيد حالة المعارف لحظة وضع هذه الشجرة . ونحن نترك جانباً شجرات الصفوف والفروع لنركز فقط على شجرة المملكة الحيوانية في مجملها . وهناك أربعة تصورات هي تصور آ . هينتز (1939) ، وتصور ل . كوينو (1940 و1951) ، وتصور أ . ڤاندل (1949) ، وتصور پ . پ . غراسّي (1961) ، وهي تدل على مظهر عام متشابه : شكل Y ، شكل جذع شجرة ذي فرع وسط يتشعب إلى شعبتين متباعدتين ، وهناك توزيع التفريعات على الفرع بشكل متساوٍ ظاهراً . وهناك اختلافات ذات صفات متعارضة تبرز استقلالية فرعين متباعدين . والاشجار الاكثر حداثة تبدو أكمل وأتم .

ولوحظت اختلافات خاصة في المواقع النسبية لبعض الصفوف أو الفصائل أو الرتب . ويأخذ تصوّر كوينو في الاعتبار موضعين أساسيين الهواء والماء . وهذه الدقّة تزيد في مصاعب التحقيق ، ولكنّها تبرز حدثاً مهماً هو أن طرفي الفروع الأبعد من جذع الشجرة تنتهي بتفريعات ذات تحرك حر ، فقريات ومفصليات أرجل عليا متكيفة مع الحياة الهوائية .

والمقارنة بين المنهجية الحيوانية في بداية القرن العشرين ومنهجية سنة1960 أبرزت العديد من التصحيحات ، كما أبرزت تحولات عميقة ؛ والتصحيحات والتحولات قدمت تحسينات

محسوسة . لقد احتقرت المنهجية في الماضي ، وتركت طيلة فترة طويلة في القرن العشرين (حوالي السنوات 1930 وما يليها) ؛ هذا النقص في الاعمال الجيدة في مجال المنهجية كان له عواقب وخيمة نوعاً ما . وبصورة تدريجية تراجع الاحتقار أمام الضرورة . ولحسن الحظ تغيرت العقلية ؛ إن سيادة المنهجي القصير النظر قد زالت ؛ فبدلاً من علم التصنيف المبسط جاء تصنيف ذكي يرتكز على المظهر الجسدي ويعطي مكانة لعلم الوراثة .

III ـ الجدول البياني بالحيوانات

بخلال القرن العشرين اغتنى الجدول البياني الحيواني بشكل ضخم وتم اكتشاف أنواع جديدة تنتمي إلى غالبية المراتب كما تمّ وصفها . والكثير منها مرت غير منظورة بسبب ضآلتها وصغرها ؛ إلاّ أن وجود حيوانات ذات أحجام كبيرة كان أيضاً مهملاً كما يدل على ذلك بعض الاكتشافات الحديثة .

الفقريات ـ إن أحد الاحداث الأكثر إثارة كان اكتشاف سمكة متصالبة الزعانف اسمها شوكية الجوف (لاتيميريا شالومنا) ، وسميت هكذا من قبل ج . ل . ب . سميث . هذا العرق أو النوع هو من الأقدم منذ بداية العصر الديفوني ، واعتبر كبائد منذ الحقبة الطباشيرية . وهناك ممثل نمطي لهذه المجموعة ، اكتشف سنة1938 على الشاطىء الشرقي لافريقيا الجنوبية قرب مصب نهر شالومنا الصغير ، وهناك نموذج آخر تم اسره سنة 1952 بجوار أرخبيل الكومور . والنموذجان كانا بحالة سيئة نوعاً ما . وعندها نُظِم بحث منهجي من قبل معهد البحوث العلمية في مدغشقر تساعده الادارة المحلية . أتاحت هذه الحملة ، بخلال ثلاث سنوات ، وبجوار جزر الكومور ، العثور على عشرة شوكيات الجوف جديدة بحالة جيِّدة . وشارك في دراستها التي تمت تحت اشراف ج . ميّيوه Millot اختصاصيون من بلاد متنوعة . هذه الأسماك ، وهي « متصالبة زعانف » طول الواحد منها 140 سنتم ووزنه 40 كلغ ، تعيش فوق القاع في أعماق تتراوح بين 150 إلى 800 متر . وتشريحها وفيزيولوجيتها ذات فائدة عظيمة .

وتم اكتشاف الاوكابي وهي زرافية موجودة في معظم الحدائق الحيوانية ، في سنة1900 تقريباً في غابات الكونغو .

اللافقريات ـ في سنة1952 حصلت البعثة الدانماركية المسماة الغالاتيا ، في المحيط الباسيفيكي غرب كوستاريكا ، وبواسطة شبكة صيد جيبية مشدودة إلى القاع على عمق 3570م ، على عشرة من النماذج النمطية لرخوية جديدة هي « نيوبلينا غالاتيا» .

وكانت العينات (بطول 37 ملم وبعرض 35 ملم) قد وصفت من قبل هـ . لمشي Lemche (1957) ؛ ثم قام لمشي وك . ج . ونغسترند Wingstrand بوصفها وبدراستها تشريحياً وبصورة مفصلة وذلك سنة1959 . وهناك نوع جديد اسمه « نيوبيلينا اونجي » مختلف تماماً ، تم اكتشافه من قبل كلارك ومنزيس سنة 1959 في عرض البحر قرب البيرو . وتنتمي هذه الرخويات إلى صف أحاديات الصفيحة التي تتضمن عدة مراتب من الرخويات البائدة وخاصة رتبة التريبليديات المعروفة

خاصة في العهد الكمبري ـ السيلوري ، وتعتبر نيوبيلينا ممثلها الوحيد حالياً .

وهناك اكتشاف آخر مشهود حصل في العقود الاخيرة هو اكتشاف حاملات اللحية وهي حيوانات بحرية طويلة طول الواحد منها يتراوح بين 5,5 إلى 30 سنتم ، تعيش في أنابيب تفرزها بنفسها .

إن أول حامل لحية ، وصفه كوليري تحت اسم سيبوغلينوم ويبيري (1914) ، قد لُقط من قبل البعثة الهولندية ، بعثة سيبوغا في عرض البحر قرب الارخبيل الماليزي . لم يتح حفظه السيء نحصه فحصاً عميقاً . إلا أن كوليري صنفه سنة1931 في ملحق ستوموكوردي . وهناك ممثل ثانٍ اسمه « لامللي سابيلا زاكسي » وقد اكتشف من قبل ب . اوشاكوف سنة1932 الذي جعله من فصيلة الديدان الحلقية « بوليشيت » . وانطلاقاً من دراسات نسيجية دحض ك . أ . جوهانسون (1937-1939) هذا التصنيف وجعل من هذا الحيوان نمط صفّ جديد هو صفّ حاملات اللحية . وأخيراً بينت أعمال ف . ن . بيكليميتشيف سنة1944 ان حاملات اللحية تشكل فرعاً خاصاً يجاور الستوموكوردي .

هذه الحيوانات لم تشكل الممثلات الاخيرة لمجموعة كانت مزدهرة في الماضي . إنها في عظمها اشكال عتيقة وسحيقة جداً واكتشافها مرتبط بتقدم علم المحيطات . إن المحصول الذي توصلت إليه السفينة السوفياتية ڤيتياز يدل على أن حاملات اللحية تشكل عنصراً مميزاً في الحيوانات البنتوسية (الاعماق) في بحار الشرق الاقصى وفي اغوار جزر كوريل واليابان . وبالمقابل انها نادرة جداً في مناطق محيطية أخرى . وفي الوقت الحاضر تم وصف 43 نوعاً وصنفت ضمن أحد عشر صنفاً . والمتخصص الكبير في دراستها هو السوفياتي آ . ف . ايڤانوف .

ومن بين الحشرات ، كان الفرع الثانوي ، فرع عديمات الأجنحة ، قد اعتبر معروفاً جزئياً في أواخر القرن التاسع عشر ؛ وتم اكتشاف العديد العديد من الانواع الجديدة بعد ذلك .

المتخصّصون ـ إن بعض الباحثين قد ركزوا على الدراسة التصنيفية والبيئية ، في فصيلة ، أو ي رتبة أو في صف وأصبحوا متخصصين عارفين ، ذوي شهرة دولية ، تُسند إليهم عملية تحديد لانماط المعثور عليها في مختلف مناطق الكرة الارضية .

ويستحيل علينا أن نذكرها هنا . ويتوافق مع هذا المنحى في الاعمال قيام دراسات واسعة حيوانية تغطي فضاءات جغرافية متنوعة .

وإذا كانت المعرفة لمجموعة ما ، من قبل المتخصص بها ، تقدم منفعة وفائدة ، فإن التخصيص المفرط ، لدى الشبان العلماء بالحيوان ، منذ بداية عمرهم أمر يؤسف له ؛ فهذا التخصص المفرط يؤدي في أغلب الاحيان إلى تناقص في ثقافتهم البيولوجية . فكل شيء غريب عن اختصاصهم ، لا قيمة له ، ويبقى مجهولاً ، وتفقد المسائل الكبرى التي يطرحها « الكائن الحي » كل اثارة بالنسبة إليهم . هذه الحالة الفكرية تبرز بحدة أكبر لدى المنهجي ، ولكنها تكتسح

أيضاً المجالات العلمية الاخرى .

الاحاثة في اللافقريات ـ هناك أنواع من الأعمال المهمة تُعنى باللافقريات المتحجرة : وصف الأنواع الجديدة ، مراجعة وتحسين التشخيصات السابقة ، والدراسات الحيوانية المتخصصة . واكتشاف المكامن المتنوعة جغرافياً وطبقياً : (الديفونيان الاسكتلندي ، الفحميات في الصين ، الترياس الاوسترالي ، والاولي الشمال اميركي ، والبرمو ـ لياس الروسي السيبيري) يقدم مادة غنية . إن تحسين الاساليب (رقائق ناعمة ، استعمال أشعة ، الخ) يحسن دراسة أكثر دقة وفهماً أفضل للاجسام .

إن الحيوانات الدنيا (المنخربات) ، والشعاعيات ظلت لفترة طويلة الحيوانات المتعددة الخلايا المتحجرة والمعروفة . ومنذ حوالي عشرين سنة أصبح من المعروف أن كل الوحيدات الخلية الحالية لها ما يمثلها من المتحجرات باستثناء البوغيات الطفيلية تماماً .

إن المتخصص الكبير في الاحاثة المتناهية الصغر وهوج . ديفلندر ، يؤمن تحرير موسوعة احاثية . إنّ الدراسة الكيميائية المجهرية للمادة العضوية التي تشكّل المتحجرات المجهرية ذات البنية المحفوظة ما تزال عملاً مأمولاً . إن حاملات المكوّرات الحجرية التي عُرفت من قبل لوهمان (1902) قد كانت موضوع العديد من الدراسات . والتصنيفات المتتالية للمنخربات قد نسقت ضمن نظام متماسك (دوڤيلي Douvillé ، 1906 ؛ وكوشمان Cushman ، 1927-1948 ؛ وغاللوواي Galloway ، 1933 ؛ وشابمان Chapman وبارّ Parr ، 1936 ؛ وغلاسنر Glaessner ، 1945) . إن خرافة الشعاعيات الرفيعة من العصر البريكمبيري في بريتاني الفرنسية قد زالت . وتحجر البروتوزوير يقدم نفسه مظهر سمة استمرارية تعطي بعض العناصر لمسألة التطور (ديفلاندر Deflandre ، 1950) .

في أواخر القرن التاسع عشر مرت بعض الاعمال المخصصة للبنيات الميكروسكوبية في العناصر الهيكلية من الصدفيات ، غير منظورة . في سنة1936 بينت مس هيل Miss Hill أهمية هذه البحوث . وفي سنة1950 وضع ونغ تصنيفاً يرتكز على الخصوصيات الملحوظة على هذا الشكل .

إن الحزازيات ، الغزيرة جداً في مختلف الحقب الجيولوجية قد دُرست بشكل واسع وقيمتها الطبقية عرفت في الاراضي الثلاثية (كانو Canu ، 1904) القديمة (باسّلر Bassler ، 1922) ، والديفونية (كازين Kaisin ، الخ ، 1944) ، وحديثة التكوين (ستاك Stach ، 1937) .

لقد خصصت نشرات كثيرة للرخويات المتحجرة . موسوعات وكتالوغات تييل Thiele (1935) ، و . آبيل (1916) ، نايف Naef ، (1922) ، سباث Spath (1934 -1951) الخ .

إن الفرع الضخم ، فرع مفصليات الارجل ممثل بشكل واسع خلال الحقب الجيولوجية ؛ ونسالته قد أثارت العديد من الايحاءات المفيدة (سنودغراس ، 1938 ؛ ستورمر ، 1944) .

إن مفصليات الارجل القديمة التي ما تزال غير معروفة تماماً قد وُصفت من قبل والكوت منذ سنة1911 ومن قبل هوتشنسون وستورمر سنة1949 ، ويضاف إلى العمل الضخم الذي قام به والكوت حول ثلاثية الفصوص (تريلوبيت)، أعمال العديد من الاحاثيين امثال وسترغارد (1910-1953)، ولاك (37-1907) ، الخ . وخصصت بعض الاعمال إلى الارثرويلوريد . واهتمت مجلدات ثلاثة من كتالوغ المتحجرات للقشريات : « كروستاسا ديكاپوردا » (غلاسنر ، 1929) كروستاسا أو مالاكوستراسا (ڤون سترلن ، 1931) وكرومتاسا فيلو كاريدا (ڤون سترالن وشميتز ، 1934) . أما مزدوجات ارجل (ديلوپود) متحجرة فقد درسها ڤيرهوف (سنة1926) ، أما العنكبوتيات (آراكيد) المتحجرة فقد درسها بصورة رئيسية بترونكيفيتش . وفي سنة1908 نشر هندليرش أول تركيب كبير منهجي ونسالي للحشرات . إن المجموعات قد اغتنت إلى حد كبير ، والحشرات المتحجرة في افريقيا واميركا الجنوبية بقيت تقريباً غير معروفة . إن مساهمة كل من لامبير (1935) ، وتيليارد ، ومارتينوف ، وكارپنتر قد اعطت منحى تطورياً لعلم الحشرات الإحاثية .

IV ـ علم الفرطيسات (بروتيستولوجيا)

بخلال القرن العشرين تابع علم البروتيستولوجيا مساره . إن عدد الباحثين قد تزايد والاعمال كانت كثيرة بشكل خاص . وبالمقابل تحسنت التقنيات بشكل كبير .

اعتمد ب . كلين طريقة الاشراب الفضي وطبقها على وحيدات الخلية (بروتوزووير) ؛ وأدخلت تحسينات من قبل ج . ڤون جيلي ، ثم من قبل شاتّون ولووف (اشراب بعد تغليف بالجيلاتين المملح) . وعرض سونيبورن طرق الزراعة وتوضيب المتطاولات (باراميسي) المستعملة في علم الوراثة وفي علم الوراثة المتعلق بالنواة . وجمعت المستندات الرئيسية المتعلقة بزراعة وتثبيت وتلوين وحيدات الخلية ، ضمن منشورات كيربي (1950) وانريك وديلر (1950) ، ماير (1956) ، وكوزليس (1956) ؛ وهناك مجلدان أكثر قدماً يعالجان تغذية وحيدات الخلية (ساندون ، 1932) وتقنيات الزراعة (نيدهام ، 1937) .

وخصص العديد من المؤلفات العامة والدورية المتخصصة لدراسة وحيدات الخلية . ونذكر توضيحات كالكين (1901 ، 1926) ، تتشين (1912) شونيتشن (1927) ، كيدو (1931 حتى سنة 1954) ، وجيروڤش ومجموعته (1953) ، ومانويل (1961) وأول موسوعة حول البروتيستولوجيا باللغة الروسية (ڤ . آ . دوجييل ، 1954) . وكرست مجلدات كاملة لبيولوجيا نوع البراميسيوم (ويشترمن ، 1953) والستانتور (1961) . وهناك مجلات دورية متخصصة أنشئت : واحدثها هي « ميكروسكوبيا » (1947) و« جورنال أوف بروتوزولوجيا (1954) » . وأقيم أول مؤتمر دولي للبروتوزولوجيا في براغ سنة 1961 .

علم التصنيف ـ هناك العديد من الانماط الجديدة قد تم اكتشافها ووصفها في بحوث متخصصة كان بعضها أساسياً مثل بحوث آ . كاهل حول الهدبيات (سيلييه) (1926-1935) . وهناك معرفة أفضل لمختلف الفئات المنهجية قد أتاحت فهماً أفضل للعلاقة النسالية وبالتالي قد

حسنت وضع تصنيفات جديدة تأخذ في الاعتبار العلاقات السلالية .

جدد فوري فريميه Fauré- Fermiet تصنيف الهدبيات ، التصنيف شبه المستقر منذ أعمال قام بها ف . ستين (1854- 1867) . وقد حلل أيضاً دورات نموها ، وحركية تطورها وأواليات توالد الشكل وتكوّن الفم في حين أن كورليس (1952- 1960) اهتم بتطورها وبتكوّن عرقها .

علم الانسجة وعلم الجنس - إن الدراسة النسيجية في البروتوزوير كانت موضوع أعمال متعددة . وتكمن الجدة الكبرى في اكتشاف البنيات العليا بفضل الميكروسكوب الالكتروني ، واهتمت هذه البحوث بشكل رئيسي بالغشاوة وبالحشوة البلاسمية وباطواقها (تحبيات الهيولي ، جهاز غولجي ، وبالبلاسما الناشطة) .

ومنذ 1923 شبه دوبوسك Duboscq وغراسي الجهاز شبه القاعدي في السوطيات بجهاز غولجي ، في الخلايا الجنسية الذكورية في متعددات الخليات (ميتازووير) . إن جهاز غولجي قد رُصد لدى وحيدات الخلية ، وبنيته قد توضحت (غراسي ، 1955- 1958) ؛ وأسلوب توالدها قد حُلل منذ سنة1935 (غراسي وفور) . إن نشاط البلاسما ، الذي اكتشفه ش . غارنييه سنة1897 ، في خلايا غددية متنوعة ، قد رُصد لدى وحيدات الخلية المتنوعة ، ووجوده يبدو عاماً . وبين الميكروسكوب الالكتروني الوحدة البنيوية في الخلايا الحيوانية والنباتية . واعتبر پيكن (1960) التنظيم الخلوي من الزاوية الخلوية الكبرى . واستعرض غريمستون سنة1961 استعراضاً نقدياً للبنيات الخارجية ، ولتولد الشكل . وأنماط انقسام الخلايا ومراحلها المتتالية قد دُرست بصورة رئيسية من قبل غراسي وآ . هولند .

وتناولت بحوث مهمة مسألة الجنس لدى وحيدات الخلية . ولعبت المدرسة الفرنسية ويمثلها بشكل ممتاز ل . ليجي ، و . دوبوسك وأ . شاتّون ، الخ . دوراً مهماً في هذا المجهود .

إن الدورات التطورية لدى مختلف وحيدات الخلية قد كُشفت وحَللت . وأوضح دوبوسك وليجي دورات « الأغريغاتا » (وهي بوغيات ذات تلقيح مختلف) « والبوروسبورا » (وهي متجمعات ذات تلقيح مختلف) . إن الدراسة المعمقة لمسألة الجنس عند المتجمعات ، قام بها كوينوه Cuénot ودوبوسك . وقد اكتشف هذا الاخير الصفات الشكلية في النضج الجنسي ، ووضع بالتالي مفهوم الجنس بواسطة النواة البلاسمية ، وهو مفهوم وضّحه فيما بعد جوابيه Joyet - لاڤرني Lavergne . واكتشف ليجي المزواج المتباين في المجتمعات ووصف التشكل الحقيقي في الغاميت الميكروسكوبية (ميكروغاميت) لدى الكوكسيدي . وبيّن وودروف أن البارامسي تستمر وتبقى لا نهائياً دون تناسل جنسي (1911- 1921) . وكشف شاتون Chatton وزوجته أن اطلاق التناسل الجنسي يتحدد بعناصر البيئة أو الوسط التي تظهر في زراعة مكثفة تحت تأثير النقاعيات بالذات . ومن المعلوم اليوم أن تحديد الجنس لدى وحيدات الخلية له مظهران ، إحدهما تحت تأثير العوامل الخارجية (نمط شاتون) ، في حين أن المظهر الآخر هو مشيجي خلوي (نمط موپاس Maupas) .

إن البيوكيمياء والفيزيولوجيا في وحيدات الخلية كانت موضوع أعمال مفيدة جداً .

إن العديد من مسائل البيولوجيا العامة قد درست : مثل الانحلال والموت ، تحديد الجنس ، ومشكلة النوع في البارامسي ، ومسألة البعث أو الاحياء (ليّليّ ، 1896 ؛ مورغان ، 1901 ، الخ) والوراثة (جيننغز Jennings ، سونيبورن Sonneborn ، نانّي Nanney ، ديبل Dippell) .

علم البيئة (ايكولوجيا) والعادات والسلوك (ايتولوجيا) ـ إن الايكولوجيا في البروتوزووير قد درست جيداً ؛ وجماهير مختلف البيئات (أرض ، بحر ، ماء عذبة) ، والتكيفات الشكلانية التي تميز كل منها قد حللت من قبل العديد من الباحثين . ومنذ 1897 درس جيننغز ردود افعال البروتوزووير تجاه مختلف الحوافز ؛ وتابع دراساته حول السلوك ؛ وفي سنة1931 نشر توضيحاً لهذه المسألة . إن التوجه الكهربائي والتوجه الضوئي لدى البارامیسي والستنتور ، قد جرّبا من قبل ڤير Viaud سنة1956 ، ومن قبل توفرو Tuffereau ؛ وحلّل سلوك أسر وهضم الضحية من قبل وود روف Woodruff وسبنسر سنة1929 ومن قبل هول Hull (1954 -1961) .

التكافل بين السوطيات والعث ـ هذا التكافل له أهمية كبيرة ، فالسوطيات العثية والسوية تلعب دوراً رئيسياً في اغذية مضيفها الذي يكون نظامه الغذائي خشبياً : فهي تهضم الخشب .

وقد حاول كليفلاند سنة1923 ودوبوسك وغراسي وهولند وكيربي وبيرانتوني والعديد من الباحثين الآخرين حل المسألة المطروحة بفعل هذا التشارك الوثيق : ثبوتية الاصابة ونقل ودورة السوطيات المتكافلة ، وهضم الخشب ، وتوزيع وتطوير السوطيات العثية .

V ـ التطفل وعلم الطفيليات

إن النهضة الجميلة في القرن التاسع عشر قد استمرت ؛ والمكتسبات الجديدة متنوعة ومهمة . والتطفل ذو فائدة مزدوجة بفضل التشويهات التراجعية غالباً التي ينسبب بها وبفضل التخريب الذي يحدثه في المضيف .

الوحيدات الخلية (بروتوزووير) ـ إن البروتوزووير الطفيلية ذات حقل استقصائي واسع . فالعديد من الطفيليات الجديدة قد تم وصفه .

في سنة1906 اكتشف شاتون البيريدينيات الاولى أو السوطيات الدوارة الطفيلية(من النوع بلا ستودينيوم) التي تعيش في امعاء مجذافيات الأرجل المحيطية ، وحلل اسلوب تكاثرها . ودرس السنديئيوم الموجودة في احشاء مجذافيات الأرجل ، وفي دم السرطان وحتى في البيريدينيات نفسها . وفي هذه الاخيرة تتحكم الطفيلية فتفرض تقهقراً عميقاً قد يؤدي إلى زوال الشكل الخارجي في حين تبقى السمات النووية سليمة .

إن علم الطفيلية التجريبي اكتشف مضيفات وسيطة أو أوضح أساليب تفتيشها .

فالبرهان التجريبي على نقل الليشمانيا دو نوڤاني التي تسبب المرض الاسود الذي يصيب

الطحال (كالاازار) من جراء الذباب الفاصد ، قد قُدم من قبل نابييه وسميث وكريشمان سنة 1933 وجرب روبو Roubaud نقل الملاريا ؛ وقام الاخوان سرجنت ببحوث حول الاصابة الخفية بالملاريا . وأثبت شاتون دور الغشاء الغذائي في إصابة الحشرات بفعل التريبانوسوم وقد نشرت ايضاحات حول التريبانوسوم وحول التريبانوسوماز (لافيران Laveran ومينيل Mesnil 1912) ، وكذلك حول الليشمانيور (لافيران ، 1917) . وقام شاغاس Chagas وشاتون وكورسون Corson ولووف Lwoff وغيرهم بأعمال أكثر جدة حول التريبانوسوميد .

وانصرف العديد من البيولوجيين إلى دراسة البوغيات ، والمتجّمعات ، والكرويات والبوغيات اللاسعة .وخارج الموسوعة الاساسية التي وضعها ف . دوفلين (1901 ؛ الطبعة السادسة ،'1949-1953 ، بقلم دوفلين وريشينو) هناك مؤلفات عامة لكوراسون (1943)، ونيفو ـ لومير (1952) ، رليفين (1961) ، وكلها قدمت تركيبات مفيدة حول الطفيلية في الحيوانات الأوالي .

الحيوانات التوالي أو الميتازووير ـ هناك العديد من البحوث تناولت التطفل في الحيوانات التوالي ، فوصفت الطفيليات الجديدة ، أو أكملت التشخيصات السابقة ، وحللت انماط الجنس ، ودورات التناسل وفيزيولوجيا اليساريع [الدودة قبل تكاملها] الحرة ، والطفيليات الراشدة وتغذية الطفيليات ، وحاجتها إلى الاوكسيجين ، وانتشارها ، والخصوصية الطفيلية وتطور التطفل وشروط الولوج إلى المضيف ، والتلاؤم المتبادل بين الطفيلي والمضيف .

وبيّن كولّيري مع مينيل أن الاورثونكتيد تُظهر تناوباً في التوالد ؛ ثم درس كولّيري تجريبياً تناسلها الشقي . واهتم لامير وهـ . نوڤيل بالديسيميد الطفيلية . إن الفروع الكبرى في البلاتلمنت والديدان الخيطية المتضمنة عدة طبقات مركبة فقط من الطفيليات ، قد شغلت العديد من الاختصاصيين . والتطفل عند القشريات والحشرات فيه تنوع كثير . ودورات تطور الحشرات آكلات الورق أوضحها مارشال وبيكارد ، ويالاشوسكي ، الخ .

إن الخصوصية التطفلية ، وهي مفهوم معقد ، ترتدي مظاهر مختلفة جداً ، منذ الشروط القاسية جداً وصولاً إلى الهرورية أو السقوطية القصوى . إن الصراع ضد الطفيليات الامراضية يرتدي أشكالاً متنوعة . ونصح روبود و . و . لوند بطريقة غذائية في المكافحة . وجمع مكتب علم الحشرات في الولايات المتحدة المستندات التي تتناول الحشرات التي تقتات بالحشرات وقارن المعلومات حول طفيليات الحشرات المضرة من أجل تنظيم المكافحة البيولوجية . ونشر ك . ب . كلوزن كتاباً بعنوان آكلات الحشرات « انطوموفاجوس انسكت » (1940) . وابتداء من سنة 1939 ساعد اكتشاف المبيدات التركيبية مثل (د . د . ت . وهـ . ك . هـ . H. C. H. الخ) على مكافحة الحشرات .

أثر الطفيلي على المضيف ـ يُحدث الطفيلي آثاراً متنوعاً على المضيف وخاصة في أيضه .

في النملة الاميركية أظهرت العاملات التي تطفلت عليها النرميس تضخماً هائلاً (ويهلر ، 1910) . وفي سنة1910-1911 بيّن ج . سميث أن الساكولين يُحدث في السرطان الذي يتطفل

عليه ، مهما كان جنسه ، تغيراً في الايض تتميز به الاناث . إن هذه التغيرات تحدث اخصاءً طفيلياً بتقلّص الغدد التناسلية ، واضعافاً مقارناً في السمات الجنسية الثانوية لدى الذكر ، باتجاه الجنس الانثوي (أعمال آ . جيارد ، 14-1911 ، ج . سميث ، أوكادا ومياشيتا ، 1935 ؛ ش . پيريز) .

والمسألة المهمة في التحصن ضد الاوبئة الطفيلية درست من قبل الاميركيين : المناعة في الاوبئة ضد التريبانوسوم وفي الملاريا (و . هـ . ول . تاليافرّو ، 1925) ، المناعة ضد الملاريا وضد امراض النيماتود (و . هـ . تاليافرّو ، وكانون ، وهوف ، وكارلس الخ) . إن المناعة المكتسبة قد حللت من قبل بلاك لوك وغوردون وميللر .

ونشرت مؤلفات مهمة تعالج التطفل عموماً أو بعض نواحيه ، من قبل باير سنة1952 ، ومن قبل بلدنغ وفون برندت ، وبيكارسكي ، ووريد وكاميرون سنة1956 ، وشاندلر وريد سنة1961 ، وروجرز سنة1962 .

المؤاكلة والتكافل ـ وهناك حالات جديدة بالمؤاكلة قد تم وصفها : باغور تجتمع مع الاكتيني ، والهيدريات ، وكثيرات الشعر ومجذافيات ومزدوجات الأرجل ، والسراطين التي تحمل اكتينة في كل من ملاقطها ، ونملات وعث تعيش مع حشرات متنوعة وتتعايش مع سينيپيد(ابريات) (پيكارد) ، مركب اعتيادي من « الفاسكوليون ستروميي » (بيريز Pérez) .

وقد لحظت وقائع تكافلية أيضاً فيها .

وهناك پروتوزوير وبكتيريا تنغل في الانبوب الهضمي لدى بعض الحشرات أو اليرقات . في سنة1948 أشار ويغلسورث إلى أن البقة المسماة « رودنيوس » تستضيف في معيها بكتيريا تكافليه تنتج فيتامينات ب ليست موجودة في الدم . وهناك حالة أخرى هي حالة السوطيات التي تعيش في معي العث . وتساهم النقاعيات في كرش المجترات ، وفي المصران الأعور في الحصان ، ولمي معدة القداد « الهمستر » في هضم السَلَلوز (هونغات Hungate) . ويحتوي كرش المجترات ، أيضاً على بكتيريا سلّولوزية (ج . پوشون Pochon) . إن الاورام الفطرية لدى الحشرات لم تفسر إلا سنة1910 ، من پيرانتوني ومن قبل سولك . إن تكافلاً بكتيرياً ، لدى الحيوانات آكلات الدم يسهل هضم الالبومين (الزلال) والعناصر الرمزية المتكوّنة في الدم (رُوبود) . وسنداً لپيرانتوني (1928) تنتج الاضوائية الحيوانية (حشرات ، رخويات ، رأسيات الارجل) من تكافل منتظم مع بكتيريا امراضية .

إن أحد البيولوجيين قد عكف بِجَلَدٍ كبير على دراسة التكافل وهو پ . بوكنر Buchner ، كما نشر ، حول هذا الموضوع ، كتابين مهمين سنة1930 و 1939 .

VI ـ علم الغدد الصماء لدى اللافقريات

إن هذه المسألة المعاصرة هي موضوع دراسات ناشطة ، كما يشهد بذلك اجتماعان دوليان مهمان حول علم الغدد الصماء لدى مفصليات الارجل (1947) وعلم الغدد الصماء لدى اللافقريات .

إن الغدد الصماء ـ في الحشرات ـ قد اختلطت ، أول الامر ، مع تشكيلات وُدية في المنطقة الدماغية .

ومنـذ سنة1762 ، اشار ب . ليونيه Lyonet إلى زوجين من الغدد (زبيبات) تقعان إلى جانبي البلعوم وراء الشكليات الدماغية . وأشار هيمونس (1897 -1899) ، لدى العضوية المسماة « فاسم » إلى البنية الخاصة ، في الزوج الثاني من الزبيبات الذي سماه « كور پورا الّاتا » . في سنة 1913 ، درس آ . نابرت Nabert هذه الأعضاء التي اعتبرها كغددٍ صماء ؛ وقد تأكد هذا الرأي بالاعمال اللاحقة (ب . دي لرما ، 1932 -1937 ؛ و . بفلوغفلدر Pflugfelder ، 1936 -1937 ؛ ن . هانستروم ، 1940 -1942) .

إن دور الزوج الاول من « الزبيبات الودية » ، التي قال بها ليونيه لم تعرف إلا فيها بعد ، وقد حاول دي لرما De Lerma أن يعطيها وظيفة صمائية . وحلل بفلوغفلدر بنيتها واجنتها وأطلق عليها اسم «كورپورا كارديكا» . وعاود هانستروم دراستها واعتبرها كأعضاء فارزة للعصبيات ، في حين قدم پ . كازال دراسة اجمالية للغدد الوراء دماغية لدى الحشرات .

منذ سنة1931 تم التعرف على الافراز العصبي لدى اللافقريات .

اكتشف هانستروم في الذنيب البصري لدى القشريات الليِّنات الصدف خلايا عصبية ، تتسم شكلياً بسمات الخلايا الغددية . فسماها « العضو ايكس X » ، بعد أن قارن ملاحظاته مع ملاحظات أ. شارير (1928-1930) ، حول الاسماك تحت العظميات . وقد وُصِفت الخلايا المفرزة للعصبيات ، في الرخويات المعدوية الأرجل من قبل ب . شارير (1935) ، ولدى الحشرات من قبل ويير Weyer (1935) . وتكاثرت الأعمال ؛ وأدت توضيحات أ . وب . شارير (1937-1953) إلى وضع بيان بالانجازات المكتسبة .

وأشير إلى الخلايا الفارزة للعصبيات في مجموعات مختلفة : كثيرات شعر هائمة ومقيمة ؛ قليلة الحلقات (اوليغوشت) ، علقيات (هيروديني) ، قضيبيات ؛ حاملات الاظافر (اورنيكوفور) ، رخويات ، ومفصليات الارجل . وأوضحت الفحوصات المعقمة ، في هذه الأخيرة ، العلاقات بين الخلايا التي تفرز العصبيات وبين الغدد الصماء . وقد تبين أيضاً أن الأعضاء الجبهوية لدى هدبيات الاذناب (تيزانور) لها بنية ولها دور مماثلان .

وجاءت البحوث التجريبية تالية بعد الفحوصات الشكلانية ، والتشريحية ، والنسيجية . وقد تم اكتشاف وظائف غددية صمائية لدى القشريات والحشرات . وهكذا تبين أن حتمية غددية صمائية تؤمن الانسلاخ في القشريات ذات الاصداف الليِّنة .

وعلى أثر ملاحظات ميغوسار Megusar (1912) ، المؤكدة لدى عشاريات الارجل ، من قبل مؤلفين كُثُر ، تم التعرف إلى مبدأ (افراز) كابح للانسلاخ (1939 -1944) ؛ ومنطلق هذا العنصر هي غدة الجيب ، التي هي تشكيل غددي صماوي يقع في الذنيب البصري . ولكن پاسانو بيّن (1915 -1953) ان هذه الغدة تستخدم كخزان ، وإن المبدأ يفرزه فعلاً العضو ايكس (X) . في

بعض القشريات ، يبدو أن المزدوج العضو ايكس وغدة الجيب ، يعملان عملاً كابحاً لنمو الغدة التي تُنشّط الذكورة . في سنة1950 -1953 ، اثبت غاب ، في مخيخ بعض القشريات ، وجود غدد صماء مزدوجة ، هي العضو (Y) أو غدة الانسلاخ .

ولدى الحشرات ، وقعت محاولات الاثبات الاولى على بقة ماصة للدم « رودينوس پروليكوس » ، وقام بها الفيزيولوجي العظيم ڤ . ب . ويغلْوِرثْ (1933 -1939) ؛ وجرت تجارب دقيقة حول قطع الرأس ، وحول الاتحاد بين عضيتين (پارابيوز) ، وحول التطعيم ، فكشفت عن أثر هورموني محفز يُطلق عملية الانسلاخ .

وجرت تجارب مشابهة حول الاتحاد الفيزيولوجي، تناولت يرقات ؛ وقام بها س . اوكسي (1944) ، وأثبتت صحة هذه الملاحظات . وبيّن جِنْجي واوكسي ، بواسطة رباطات في مواضع مختلفة من اليرقة انطلاقة هورمونات التحول . وبالتجارب حول التحولية ، لدى السرقات (الشنيل) المسماةُ « بومبيكس موري » (1936 -1938) ، اكتشف ج . ج . بونهيول في « الكوريورا الآتا » ، هورموناً كابحاً للانسلاخ الصُوَري [الذي يتناول المظهر] ، واثبت ويد - پفيفر (1936 -1939) دور هذه الاعضاء في بلوغ بيوض الجرادة . واثبتت تجارب العديد من المؤلفين أثر افرازه « كوريورا الآتا » على تسريع التحول لدى اليرقة والخادرة ، عند مختلف الحشرات ، وكذلك على الدورة المبيضية لدى الاناث .

إن الدور الغددي الصماوي في الغدد ما وراء الدماغ - عند الحشرات - لا جدل فيه إذن . ويبدو أن النمو « بعد - الجنيني » لدى الحشرات تنظمه ثلاث غدد صماء :

1 - الخلايا العصبية الفارزة في الدماغ تحفز الغدة في مقدمة الصدر .

2 - هذه الغدة تفرز هرمون الانسلاخ أو « اكديسون » ، الذي توصل ب . كارلسون وآ . بوتينانت إلى عزله انطلاقاً من نضاريات [مغمدات الاجنحة] بومبيكس ، 1954 .

3 - تفرز كوربورا الآتا هورمون الفتوة .

وبحضور هذين الهورمونين ، يكون الانسلاخ انسلاخاً يسروعياً ؛ بغياب هورمون الشباب ، يكون الانسلاخ تصويرياً ويعطي أوبولد الناضجة (Imagc) .

وبخلال ثلاثين سنة تقريباً ، أتاحت مكتسبات علم الغدد ، في الحشرات ، وهو علم حديث جداً ، حلَّ مشاكل معقدة تهمّ الجنس والنمو . الكثير من المسائل يبقى محتاجاً إلى التوضيح ، إنما يجدر أن نشير إلى أن أي فرق أساسي لا يظهر في نماذج علم الغدد ، عند الفقريات واللافقريات ، وخاصة مفصليات الارجل .

إن « كوربورا كارادياكا » ، غدة الجيب والغدة البطنية ، في القشريات ، تذكر بالمركب « تحت المهادي - النخامي » لدى الفقريات . وكذلك ، عند الحشرات ، إن العلاقة « بين ثنايا الدماغ » و « كوربورا كارادياكا » مع تجول على طول الذنيب في السوائل المقررة ، توحي

بالعلاقات بين ما قبل الغدة النخامية وغدة « تحت المهاد » . إن الدور الحافز الذي يلعبه هورمون الخلايا الفارزة للعصبيات ، في الدماغ ، يشبه دور الحافزات تحت المهادية . إن هذه المشابهات التي يجب أن تعتبر كظاهرات تلاق قد وسِّعت من قبل هانستروم Hanstrom (1941) ، ب وأ . شارير Scharrer (1944) .

VII ـ مسألة الإنسال أو التوالد عند اللافقريات

في آخر القرن التاسع عشر ، كان العلماء يجهلون ما إذا كان الجماع يمثل ضرورة دورية ، وإذا كان التكاثر غير الجماعي المستمر إلى ما لا حدود له ، يتلاءم مع الحياة . والجواب اليوم حاصل بفضل مختلف التجارب ذات النتائج المتوافقة ، فمنذ سنة1911 إلى سنة1921 نجح وود روف في ادامة ـ بدون تزاوج جنسي ـ متطاولات (پاراميسي) انشئت في زراعات معزولة . إن العالم الزوولوجي البلجيكي بْرِيِنْ Brien ربَّى هدرات ضمن شروط ملائمة فقط للبرعمة (ثبوتية الوسط ، استبعاد البقايا بالتشتيل أي تغيير مكان الشتلة) ؛ وتنفصل البراعم عن الهدرة ـ الام ، وتوضع في زراعة معزولة ، فتصبح بدورها ارومة لسلسة من البراعم تزرع بدورها على حدة . ضمن هذه الشروط تبدو الهدرة وكأنها خالدة . وكذلك تمكن كورشالت ـ طيلة ستين سنة ـ ان يطيل عن طريق اللاتزاوج عمر كثيرة شعر (بوليشيت) ، ولكن الزراعة ضاعت عرضاً سنة 1942 .

إن التناسل التزاوجي ، لدى بعض المجموعات ، ليس ضرورة حياتية . إن دوام الانواع التي لا تقتضي ذكوراً ، بل إناثاً فقط تتوالد عذرياً (كالعضويات المسماة فاسم ، وبعض الدولابيات) يدل على أن الجنس (أي التزاوج الجنسي) ليس ضرورياً لحفظ الانواع .

1 ـ التناسل

تناولت أعمال عديدة التناسل الجنسي عند الفقريات . إن دراسة نوى الغاميت ، وصفاتها قد توضحت . إن نظرية الجماع الجنسي التي وضعها جواييه ـ لافرنيه ترتكز على الفروقات الفيزيائية الكيميائية الملاحظة بين الغاميت المذكرة والمؤنثة .

وانماط الاخصاب قد حلِّلت . واكتشف غاتنبي الاخصاب غير المباشر في الاسفنجيات . وأوضح تورت ودوبوسك تفصيلاته وبدائله سنة1931 . إن الاخصاب الجوفي الدموي ليس نادراً لدى متغايرات الاجنحة . إن التفاعل القشري الاخصابي أو التنشيطي قد أثار العديد من البحوث في مختلف المجموعات : الشوكيات ، الرخويات ، الحلقيات ، الافعويات ، الشعريات ورقيات الارجل والقميصيات (أسيدي) .

السوما والجرمن ـ إن مفهوم ويسمان الذي يقرر وجود افتراق مبكر بين السوما وبين الجرمن (خلايا الوارثة) ، قد ثبت بفضل الارصاد الخلوية الجارية على بيوض الاسكاريس ، والسيكلوبس (ذات ارجل مجذافية) ، وعلى بعض الحشرات وكلها لها أصل برعمي . ولكن تجارب متنوعة تجديدية انبعاثية ، حول المجوفات وحول الحزازيات (بِرين ومعاونوه)

والحلقيات والعلقيات ، دلت أن سلسلة جنسية تتكون من جديد انطلاقاً من خلايا سوماتية (جسمانية) . فضلاً عن ذلك ، لم تتوافق الاعمال الجميلة التي قام بها برين حول هدرة المياه الحلوة ، مع وجود سلالة بزرية متميزة .

السمات الجنسية الثانوية ـ عند اللافقريات ، تكثر هذه السمات وتتنوع : فروقات في القامة (ذكور قزمة في الدولابيات والقشريات) ، ملاقط ضخمة عند السرطانات الذكور ، اختلاف التلوين عند الفراشات ، تزيينات جلدية خارجية متنوعة لدى الحشرات ، اناث معطرات ، الخ . ولكن حتمية هذه السمات ما تزال غير واضحة تماماً . عند مفصليات الارجل ، لم يقدم البرهان على تدخل الهورمونات الجنسية .

إن استئصال الغدد الجنسية لدى اليرقات ولدى الراشدات من الجداجد ، من السُرقُات والفراشات ، لم يمنع نمو السمات الجنسية الثانوية . وبالمقابل بيَّن هـ . شارنيو ـ كوتّون (1952-1955) ان التفارق الجنسي في الذكور الوراثية ـ في بعض القشريات ـ ينتج عن افرازات الغدد المنشطة للذكورة المفصولة عن المنسل . إن هذه الغدد تمثل المثل الوحيد عن الغدد الصماء الجنسية الفردانية . وزرعها في أنثى يثير ظهور سمات جنسية ذكورية .

وفي الحلقيات ، إنَّ الحتميات الغددية الصمائية ، في النشاط التناسلي ، والتغييرات الجسمية ، ذات العلاقة بالتناسل ، وبتطور تفاعليات التجدد والانبعاث قد درست بخلال العقد الاخير .

إن دماغ النيريديات يمارس أثراً رادعاً ضد النضج الجنسي وضد التحول « الدودي الحلقي » (ديفريتن ، دورشون ، هاونشيلد) . وفي قليلات الشعر (اوليغوشيت) ، بدت النتائج الحاصلة مساعدة على وجود عوامل هورمونية ، في النظام العصبي ، ضرورية لتشكل ولبقاء السمات الجنسية الثانوية ، ولعملية التبيّض (آفل ، هرلنت ـ ميفيس ، هوبل) . وفي الدولابيات ، تتعلق الظاهرات الجنسية بعمل الهورمونات ، التي تصنعها الخلايا الفارزة للعصبيات داخل العقد أو الزبيبات الدماغية .

إن الغدد الصماء لا تتوجد إذاً كما في مفصليات الارجل . ولكن في حتمية النشاط التناسلي تضيف بعض العوامل آثارها إلى أثر الهرمونات ، إن الدورانية الضوئية ، والتغذية تمارسان تأثيراً واضحاً في هذا المجال .

التوالد العذري ـ على أثر الاكتشاف الجميل الذي قام به الاميركي ج . لوب سنة1899 (مجلد III) ، حصل ي . ديلاج ، بأساليب مختلفة ، على توالد عذري لنجمة البحر ، ثمّ توالد « التوتياء » . ويلاحظ التوليد العذري للذكور فقط ، لدى النحلة ؛ إن البويضات المخصبة تتطور إلى أناث ، وغير المخصبة تصبح ذكوراً .

إن العمل الاساسي الذي قام به مفس Meves سنة1907 حول توليد الغاميت الذكرية ، في النحلة ، بيَّن أن التقسيم الأول للنوى المنوية تطريحي ، اسقاطي . إن التوليد المنوي الذكري يتم

عندها بدون تنصف ، والمني الفردي يحتوي على العدد (N) من الصبغيات (كروموسوم) .

في سنة1940 عرف ڤانـدل Vandel تـوليـداً عـذريـاً جغـرافيـاً ؛ إن جنسـاً واحـداً ، بحسب المناطق ، يضم اما أناثاً فقط ، أو الجنسين بنسبة متساوية تقريباً . ثم أن التوالـد العذري يقترن في أغلب الاحيان بتعدد الصبغيات في النواة .

إن توليد الطفل أو التوليد العذري في حالة اليرقة ، المدروس في ذوات الجناحين ، منذ نهـاية القرن التاسع عشر ، ما يزال يثير اهتمام الدارسين . ويتميز التوليد العذري الدوري بتنـاوب منتظم أو غير منتظم في التوليدات المزدوجة الجنس أو الوحيدة الجنس (انـاث مولدات عذريـات) ؛ وقامت بحوث تهتم بحتميته لدى بعض القشريـات (مورتيمـر ، 1937 ، دِهن Dehn) ، عند الـدولابيـات (لونتز Luntz ، 1926 ؛ طوسون Tauson ؛ بوكنر Buchner) .

إن التوليد الانثـوي المبيضي أو شبه الـزواجي موجـود عند الخيـطيات ؛ وقـد أوضح نيغـون (1947) نماذجه .

ازدواجيـة الجنس ذاتياً - إن ازدواج القـدرة الجنسية ، هـو ظـاهـرة عنـد الحيـوانـات التـوالي (ميتـازويـر) ، ويبـرز تماماً لدى مـزدوجات الجنس ؛ فعنـدما ينفصـل الجنسان ، تتغلب إحـدى القـدرتين على الاخرى فتـطلعها تمـاماً إلى حـد ما . ومـع ذلك تـوجد حـالات وسط بين الجنسين كمفارقات أو استثناءات تسمى « الازدواج الذاتي » . وقد درست حالة البونيلي « افعـوانية الـذيل » والقنفذ البحري بشكل خاص .

ومنذ 1868 اكتشف آ . كوڤاليڤسكي عند « بونيليا ڤيريدس » تشكلاً جنسياً مزدوجاً بـارزاً . إن الذكر النحيف أو الذكر القزم ، طوله 2 آلى 3 مم ، في حين يبلغ طول الانثى متراً . وتكوين الـذكر بدائي ، باستثناء الجهاز العصبي والجهاز التناسلي اللذين يبدوان جيداً . وتعيش الـذكور طفيليـات فوق جسم الانثى أو في جهازها المهبلي .

إن يرقات البونيلّي تنفتح في حالة جنسيـة عديمـة الفرق ؛ وبـالتحول ، قـد تصبح ذكـوراً أو اناثاً . واليرقة المعزولة ، تسقط إلى القاع وتتحول إلى انثى . واليـرقة التي تتشبث فـوق جسم انثى بـالغة والتي تتغـذى من افرازات المهبـل (الانبوب) طيلة 48 سـاعة تصبـح ذكـراً قـزمـاً (سبنجـل Spengel ، 1879) . إن التجارب الجميلة التي اجراهـا ف . بالتـزر (1914 - 1926) تدل أن تـطور اليرقة لتصبح ذكراً ، يبعثه هورمون مذكر موجود في افرازات الانبوب المهبلي ؛ وقد أثبتت تجـارب لاحقـة تـطوريـة هـذا العمـل ، ولاحظ هـربست Herbst (1928 - 1940) أن تـركيـب المـاء ، في البحر ، كمساعد تحليلي ، له دخل أيضاً .

ذكر بالتزر أن الجنس القليل نسبياً ، من اليرقات ، لا يبدو أنه متعلق بهذا الاثر الهورمـوني ؛ ويمكن الافتراض ، في هذه الحالة ، إن الاوالية النوعية النمطية ، لتحديـد الجنس ، تتدخـل بقوة أكبر . إن ازدواجية الجنس لدى البونيلي تكشف عن الاثـر الحاسم الـذي تحدثـه مواد معينـة ، في حقبـة مناسبـة من النمو . ورأى هـارتمان سنـة1943 إن كلّ اليـرقات تتمتـع بازدواجيـة في الـطاقـة

الجنسية ، ولادية نمطية ، معادلة « للهرمافروديسم » أو اللازدواجية الجنسية وان تحديد الجنس ينتج عن أثر المكان أو المحيط .

ويلاحظ وجود حالات مشابهة نوعاً ما لدى الرخويات ، والحلقيات ، والقشريات والخيطيات [الدوديات] . ويبدو أن تجارب ريڤربيري Reverberi وبيتوستي Pittosti تدل في القشريات على أن الذكور القزمة الطفيلية على الاناث تتمتع بجنسية تتحدد بواسطة عوامل خارجية .

فإلى جانب هذه الجنسية الذاتية (الازدواجية) التي تسببها عوامل خارجية مباشرة إلى حد ما ، توجد لدى الحشرات ازدواجية ذاتية تحددها عوامل وراثية نمطية .

وكشفت بحوث ر . ب . غولدشميت ، المتابعة طيلة عشرين سنة وأكثر على ليمانتريا ديسپار ، وهي فراشة متغايرة الذيل ، عن وجود ازدواجية جنسية تتحقق بفعل التلاقي . فاجراء تلاقٍ منهجي ، بين اعراق اوروبا واليابان ، مكّن غولدشميت من أن يلاحظ أن الازدواجية الذاتية تظهر في الجنس الذي ينتمي ، بعد اللقاء الأول ، إلى الجنسية الذاتية مع بنية هرمافروديتية في الغوناد أو المناسل (البزور المنوية) ، إلى أن يتم التحول كاملاً من الجنس الموروث إلى الجنس الآخر . إن الازدواجية الذاتية تتحقق بخلال مرحلتين : ينمو الفرد أولاً وفقاً لجنسه النمطي الموروث ، ثم بعد التحول أو الانقلاب الحاصل في الجنس ، يتكامل النمو وفقاً للجنس المعاكس . ويكون التحول أكثر زخماً ، بمقدار ما تكون لحظة التحول أبكر . وكل هذه الوقائع تتوافق مع اوالية هورمونية تتدخل باكراً في النمو .

وبعد دراسات جرت على قشرية الجناح ميكروبية من نوع « سولينوبيا » رأي ج . سلاتر ومعاونوه (1937 -1949) بأن عوامل الوسط تتدخل في الازدواجية الجنسية الذاتية المحققة بالتلاقي . ولوحظ وجود حالات ازدواجية داخلية عند القمل (كيلين ونوتال Nuttal ، (1914-1918) ، وعند ذبابة مايو (م . ور . كوردرنيو ، 1931) وعند الدافني (بانتاور . دي لا فولكس ، 1921) وعند القشريات التي تحمل غدداً منشطة للذكورة .

الجيناندرومورفيسم ـ الجيناندرومورفيسم هو شكل خاص من الازدواج الجنسي الداخلي يبدو فيه الفرد كفسيفساء من الاجزاء ، بعضها مظهره ذكوري ، وبعضها مظهره انثوي .

وقد أشير إلى بعض حالات الجيناندرومورفيسم لدى القشريات ، والعنكبوتيات ، ولكن الامثلة الاكثر عدداً تلاحظ لدى الحشرات ؛ إن النحلات الاولى الجامعة [لاعضاء الذكورة والانوثة] التي قام بوصفها سيبولد Siebold سنة1854 (المجلد III) ، قد أعيد فحصها سنة1915 من قبل بوڤيري . وقد نجح غولدشميت وكاتسوكي (1927) في استحداث الجيناندرومورفيسم بصورة منهجية عند دودة القز .

وطرحت عدة نظريات حول الجيناندرومورفيسم من قبل مورغان (1919) وبوڤيري (1916) ودونكاستر (1915) وويتنغ (1927) .

التناسل غير الجنسي - باستثناء حالة الهدرة ، إن التناسل غير الجنسي مثير للاهتمام بشكل خاص عندما يظهر لدى ممثلي مجموعة ما حيث يكون التناسل الجنسي هو القاعدة .

ذلك هو حال « متحركات الهدب » والمثقبات والشريطيات والحلقيات والقشريات ، وجذريات الرأس . إن التناسل اللاجنسي لدى متحركات الهدب المكسوة ثلاثياً ، قد درِس من قبل العديد من الزوولوجيين ، منذ ڤاندل (1922) ، إلى داهم (1956 -1958) . من بين متعددات الشعر (پوليشت) لوحظ التكاثر الانفصامي في المشيج عند السربوليان [دودة بحرية تعيش ضمن انبوب كلسي] . وقد أحدث آلن (1927) وأوكادا (1929) انفصاماً تولدياً تجريبياً عند بعض الانواع وذلك باضافة ماء مقطر إلى ماء البحر ، حيث تعيش هذه الانواع .

إن قليلات الشعر (اوليغوشيت) المستنقعية تتكاثر غالباً بالانفصام التوالدي . إن تشطرية الـ « آلوسوماتيدي » (بويضات لا متناهية ذات محور) قد درست من قبل هـ . هرلنت - ميفيس (1950 -1954) .

إن التعدد الجنيني أو انقسام الاجنة ، وهو تفاعلية تناسل غير جنسي قد دُرِس من قبل مارشال (1904) ، عند بعض غشائيات الأجنحة الطفيليات على اليساريع .

ويرتبط بالتناسل اللاجنسي القدرة على التجدد الظاهر بشكل خاص لدى المجوفات البطن والعلق وقليلات الشعر . إن الجهاز العصبي يتحكم بإمكانات التجدد . والنتائج الحاصلة في هذا المجال عرضها آ . أ . نيدهام (1953) وحـ . آ . ستولت Stolite (1955) .

إن البحوث حول التناسل اللاجنسي في الاسفنجيات (تشكل البريعم ، شروط التخدر أو السبوتية والبرعمية) قد تيسرت بفضل تقنية التربية في وسط مراقب (راسمونت) .

2 - علم الأجنّة (امبريولوجيا)

إن علم الأجنة التجريبي الذي تعود بداياته إلى آخر القرن التاسع عشر ، قد ازدهر في القرن العشرين . واصبح علماً قائماً بذاته ، له مجلاته الخاصة ؛ واحدثها هي « نشرة الامبريولوجيا والمورفولوجيا التجريبية » التي أسست سنة 1953 .

إن بويضات بعض اللافقريات تشكل مادة ممتازة للدراسات الامبريولوجية الوصفية والسببية . إن البنية الدقيقة في بيضة توتياء البحر درسها رونستروم (1923-1928) ، وموني Monné (1944 -1945) ، ومونروا (1947-1949) . ومنذ 1901 ، لاحظ ت . بوفيري تطور بيضة الاورسين « پاراستروتوس ليفدوس » ؛ وتخصصت المدرسة السويدية ، مع س . هورستاديوس في هذه الدراسة (1928-1953) .

ومنذ 1942 رصد الهولندي ك . رافن Raven ومساعدوه ، طيلة عملية البيض ، التحولات النواتية البلاسمية في بويضة الحلزونية ، التي تعرض تشققاً حلزونياً (سبيراليا) . ودرس شايلد (1900) تطور الارنيكول ، ودرس كوكلين تطور الأسيدي ، الخ . ودراسة ولادة فرد الامفيوكسوس

تتبعها ماك برايد (1900 -1909) ، وسرفونتين (1906) وكونكلين (1932) .

وتناولت دراسات نواتية كيميائية وفوتومترية الحوامض النووية والمعيار من (A. D. N) بخلال تطور بيضات التوتياء ، والاسكاريس ، الخ . وحقق مونروا تحليلات بيوكيميائية حول المراحل الاولى من تولد الشكل عند التوتياء (1962) . وتعتبر مؤلفات أ . كورشلت وك . هيدر (يينا 1902) وك . دوايدوف (باريس 1928) كلاسيكية .

إن الاعمال التجريبية حول تطور البيضات الفسيفسائية عُنيت بمختلف انواع اللافقريات .

والتجارب حول آسيديات شابري (1887) المؤكدة باعمال كونكلين (1905) تدل على أن مصير كل قسيمة أصلية ثابت منذ بداية الانقسام ، وفي سنة 1904 أسس أ . آ . ويلسون على بيضة دانتال فكرة الموضعة البرعمية . وبيِّن بينرس ، حول « التوبيفكس » (1924 -1937) الصفة الفسيفسائية للنمو من جهة اولى والقدرات المنظمة من جهة ثانية .

إن البيضات ذات الانضباط كانت أيضاً موضوع تجارب دقيقة . واعطى هـ . دريش Driesch (1891) حول بيضة توتياء البحر تدليلاً تجريبياً على الانضباطية ، وهي تفاعلية بفضلها يتفاعل النظام البرعمي المضطرب ، ليتجه إلى تحقيق مجمل المظاهر التوليدية التشكلية الطبيعية المميزة للنوع المعتبر .

بيِّن تيسيه (1931 -1934) إن البيضة والنطفة في الهيندرات تمتلك قدرة تنظيمية كبيرة تمتد وتعمر حتى مرحلة الجزيعة أو البلاستولة والبلانولة . والتحليل التجريبي للانتظام في بويضة التوتياء هو العمل الأساسي في المدرسة السويدية باشراف رونستروم (1928-1929) ، لندهال (1936 إلى 1953) ، وهورستاديوس Horstadius (1928 -1953) . ودرس أ . ل . ول . هـ . كولفين (1950)هذه التفاعلية في دودة لسانية ، ودرسها ولسون (1893) وكونكلين (1933)في مدببات الطرفين . والمفهومان، مفهوم الفسيفساء ومفهوم الانتظام ، متكاملان .

بين 1932 و 1938 لاحظ آ . دالك Dalcq انه في الاسيدية أو الزقيات إذا عولجت البيضة في وقت مبكر جداً فإنها تصبح مؤهلة للانتظام . والبيضة الفسيفسائية في الحلزونيات هي كذلك ، كما تدل عليه التجارب على بويضات التوبيفكس (بينرس ، 1926) ، والعلقة والحلقيات والنيمرتيات (ياتسو Yatsu ، 1910 هورستاديوس ، 1937) ، والسلكيات (بوفيري 1899 -1910 ؛ وهوغ Hogue) .

وبين دو بوا Du Bois (1936 -1938) بان بيضة السياليس وهي من عصبيات الجناح تمر بمرحلتين متتاليتين : المرحلة الاولى لا يتحدد فيها الجنين ، ويتحدد في المرحلة الثانية . وفي حال تطور الكائن الفرد يكون لمفهوم الزمن أهمية ؛ فالبرعم الفتي ينتمي إلى النمط المنتظم ، فإذا تقدم في السن أصبح من النمط الفسيفسائي . والفرق بين البيضات الفسيفسائية والبيضات المنتظمة ليس بالتالي أساسياً .

وبين بوفري أن بويضة الاسكاريس تتمتع ببنية تدريجية تتراوح من قطب إلى آخر . إن هذا

التنظيم يرتدي أهمية كبرى مع أعمال هورستاديوس الذي عزل في بيضة التوتياء مناطق حيوانية ومناطق إنباتية . إن عوامل التنظيم التي تميز النصف الحيواني توزع بنسبة الزخم حول مركز يتوافق مع القطب الحيواني .

إن نظرية النسب الفيزيولوجية التي وضعها ك . م . شايلد (1915) ترتكز على تحليلات الانبعاث لدى اللافقريات الدنيا . وتعميقاً فقد طبقت في مجال تخلق الجنين .

إن النسب تدل على النشاط التشكلي ضمن أرض معينة . إن منطقة القطب الحيواني في بويضة التوتياء تحتوي على مركز النشاطات التشكلية والفيزيولوجية القصوى ؛ وانطلاقاً من هذا المركز نحو الحقل الإنباتي تضاءل النشاطات إلى أن تأتي اللحظة التي تتوازى فيها نشاطات المنطقتين .

وبخلال تكونّ الفرد تكتسب المناطق المختلفة تحديداتها ؛ وتحقق الحالة الفسيفسائية بصورة تدريجية ؛ وتتحدد كل ارض ولا تستطيع إلا القيام بتفارق ذاتي خاص .

وقد تم اثبات تفاعليات الحث ، التي درست بصورة رئيسية لدى القوازب أي البرمائيات ، ولدى الزقيات أو الاسيديات وفي الشوكيات وفي الحشرات (وهذه الاخيرة تمتلك مركزاً يولد الاختلافات ، أو مجمعاً هو مركز مكون ومركز مفرق) .

VIII ـ علم البيئة أو الايكولوجيا

إن مفهوم الايكولوجيا ، منذ وضع الكلمة من قبل هايكل Haeckel سنة1866 ، قد أثار الكثير من النقاش ؛ في سنة1949 بيّن جيزين Gisin كل المصاعب .

فقد كان من المقبول ان الايكولوجيا تدرس العلاقات بين الحيوانات وبيئاتها ، وفي سنة1931 ميّز شابمان الايكولوجيا الذاتية أو علم بيئة الفرد عن الايكولوجيا الجماعية أو علم بيئة المجتمعات والاجهزة . وسلوك وتصرف الحيوانات في اوساطها تدخل في ما يسمى بعلم الايتولوجيا أو السلوكيات في حين أن الدراسة في المختبر لردود الافعال تجاه مختلف ظروف المحل تدخل في مجال الفيزيولوجيا .

وحتى حوالي سنة1921 جمعت الايكولوجيا أو علم البيئة وخاصة التحليلية منها الاعمال التي اجريت شبه عفوياً بدون هدف محدد . فتم تسجيل ردود الافعال الفيزيولوجية لدى الحيوانات تجاه مختلف عوامل الوسط . وتمت الاشارة إلى حدود اثر هذه العوامل مع ظروف الحياة (أدمس 1913 ، شلفورد ، سيتون ، ريغهارد Reighard ، اندروس ، الخ) .

ويجري الكلام أيضاً في بعض الاحيان عن بيوجيوغرافيا أو الجغرافيا وعلم الاحياء البيئي ، أو ايكولوجيا التوزع الجغرافي ، وهو توجه ساد في الحقبة بين 1912 و 1930 . والكتاب الاكثر أهمية في هذه الحقبة هو « التيرجيوغرافيا أو ايكولوجيا غرانبدلج » (1924) الذي وضعه ر . هس Hesse حيث ينظر إلى الجغرافيا الحيوانية من منظور جديد ، فتطبق الطرق الايكولوجية في دراسة

توزع الحيوانات . وهناك كتابان احدهما لـ وليس Willis (1922) والآخر لبوكنر (1930) يجب ذكرهما أيضاً .

وهناك كتابان آخران عنوانهما الايكولوجيا الحيوانية ، مفيدان بشكل خاص . أحدهما كتاب بيرس Pears (1926) ، تحليلي ، والآخر لايلتون Elton (1927) ويمثل المحاولة الأولى لتوحيد الايكولوجيا . وهو يعتبر أنّ غرض هذا العلم هو التحديد النوعي والكمي للسكان أي دراسة الجماهير في مختلف المساحات البيئية ، وتوازنها وتنوعها داخل الظروف الطبيعية .

وبعد ذلك أخذت الايكولوجيا تنتظم . وأخذت مبادئها تستقر تدريجياً وتتماسك . وصدرت نشرات دورية متخصصة منها (مجلة الايكولوجيا ، 1913 ؛ الايكولوجيا ، الدراسات الايكولوجية المتخصصة بالانكليزية ، 1931 ؛ مجلة ايكولوجيا الحيوان ، 1932) . وفي اوكسفورد اشرف أيلتون على مكتب « المجتمعات الحيوانية » (1932) . وحرر كليمنتس وشلفورد كتاباً بعنوان « بيو ايكولوجيا » (1939) وفيه يلتفتان إلى تعايش النباتات والحيوانات .

المناهج ـ في حالات نادرة من الممكن اجراء تجربة طبيعية . لقد دمر انفجار بركان كراكاتواد Karakatoa سنة1883 كل حياة نباتية وحيوانية ؛ وبصورة تدريجية عادت الأنواع إلى الوجود ؛ ووصف دانيمان صورة وشروط إعادة التأهيل بخلال خمسين سنة(1948) . ويمثّل إعمال المناطق الخالية التي ابتكرها الإنسان (بحيرات اصطناعية ، قنال كاين Caen إلى البحر ، الخ .) تجربة أخرى غنية بالمعلومات .

يقتضي علم البيئة جهازاً أدواتياً خاصاً كفيلاً بقياس سمات الوسط ، أو بصورة أدقّ الأوساط الصغرية ، لا سيّما المناخات الصغرية (جيجر ، 1950) : قياس الرطوبة ، الترسبات ، الهواء ، تركيب الماء أو الهواء ، التبخر ، الخ . واقتضى أخذ عينات من الارض (فرانز ، 1950) ، في الطبقة المعشبة ، الخ . تقنيات واجهزة خاصة تتلاءم مع شروط البيئة : مثل مختار آدم ، اشراك من انماط متنوعة ، وطعوم . إن تقنيات التعداد أو الوسم قد استخدمت إلى حدٍ كبير .

إن تعداد الحشرات ووسمها اتاح تقدير معدل الوفاة أو الهجرة . وابتكرك . ج . ج . بيترسن Petersen طريقة لتعداد ووسم الاسماك من أجل تتبع مساراتها وهجراتها . أما المعارف حول الطيور فقد انجزها الدانماركي مورتنسن سنة1899 . وسريعاً ما تبوأت المانيا الطليعة بعد أن أنشأت مركز في روسيتن منذ سنة1901 . وهذا المتاع العلمي يطبق اليوم في كل أوروبا . في بريطانيا هناك حوالي 20 محطة ذات علاقة مع البريتش ـ ميوزيوم . وفي فرنسا انشىء مرفق مركزي للبحوث حول هجرة الثدييات والطيور في الميوزيوم الوطني للتاريخ الطبيعي سنة1930 . وبدأ الاهتمام العلمي في الولايات المتحدة حوالي سنة1920 وفي الاتحاد السوفياتي سنة1924 .

ومنذ سنة1923 اعطت تقنية المعرفة حول الحيتان نتائج مرضية . ومن سنة1934 إلى سنة 1938 أمكن وسم حوالي خمسة آلاف حوت في القطب الجنوبي ، وفي سنة1953 تم العثور على 317 حوتاً مرقماً . وجمعت المعلومات الحاصلة في انكلترا في المعهد الوطني لعلم المحيطات .

البيومتريا أو حساب ديمومة الحياة البشرية ـ إن التقدير الاحصائي للجماعات وتنوعاتها اقتضى

ايجاد علم جديد هو علم البيومتريا الذي كان تطوره ضخماً بخلال السنوات الاخيرة .

في القرن التاسع عشر كان الطليعي في مجال البيومتريا هو أ . كيتليت Quetelet الذي افتتح اسلوب متعددات الاضلاع التواترية . ثم قام ف . غالتون وتلميذه پيرسون بوضع مفهوم الترابط ودرسا العبارة الرياضية حول التغير التأرجحي الذي وضعه داروين . وحلل جوهانسن التغير الفردي في الفاصوليا . وقام البيولوجي الرياضي ر . آ . فيشر بتنشيط التحليل البيومتري في مختلف جوانب الظاهرات الحياتية . واصبحت بعض أعمال الرياضيين كلاسيكية : مثال ذلك ر . پيرل (معدل الحياة 1928 ؛ بيولوجيا النمو السكاني ، 1925 ؛ بيولوجيا الموت ، 1922) ، لوكتا (عناصر البيولوجيا الفيزيائية ، 1925) . وبواسطة المجموعات التجريبية في ذبابة الخل التي تسمى الهمجة ، وضع ڤرلوست وپيرل منحنى النمو اللوجستي (التمويني) وحاول ڤولتيرا إجراء تحليل رياضي لعوامل الوفاة ، وقد طور هذا التحليل فيما بعد على يد نيكولسون وبايلي .

وقد اثرت البيومتريا كثيراً على علم البيئة ، ولم يعد بامكان الايكولوجي تجاهل البيومتريا . وأيضاً يتوجب على المتخصصين أن يقوموا بجهدٍ كافٍ في العرض حتى يمكن فهم طرقهم بسهولة من أجل استعمالها . والتحليل الرياضي سهل نسبياً في دراسة الجماعات المستحدثة في المختبر أو ما يسمى « بايكولوجيا المرطبان » : وهي أعمال المدرسة الاميركية حول حشرات الحبوب (ليسلي وبارك ، سنة1949 ؛ واتس ، 1955 ؛ اوتيدا ، 1956) . وإذا كانت بعض النتائج الحاصلة على هذا الشكل صالحة ، فإن تطبيق الرياضيات على ايكولوجيا التربة قد اثار انتقادات حادة (بودنهيمر ، 1952 ؛ اوليت ، 1953) . ودراسة جماعات الحشرات في بعض الاوساط الطبيعية مثل : الغابات العذراء والادغال والسهوب هي شبه مستحيلة : ومن الافضل أخذ أماكن طبيعية محصورة أكثر واقل تعقيداً .

وقد درست مثلاً ايكولوجيا التربة (فرانز ، 1950 تيشلر1955) ، كما درست ايكولوجيا الاشجار (ليبوانت ، 1957) وايكولوجيا الحقل المزروع بعد البذار والحصاد أو القطاف (تيشلر ، شوڤين) ، دون اهمال سكن التخوم ، والفوارق الحيوانية بين القاعدة وذروة الجذوع ، وعلق البحر الهوائي ، والحيوانات الليلية والتطور الحيواني السنوي مع أنواع الربيع والصيف والخريف وكذلك الانواع الدائمة .

إن الدراسات الايكولوجية (المتعلقة بعلم البيئة) التي تتناول الحيوانات البحرية والعلقية والبحيراتية والمتكهفة ، كانت هي أيضاً موضوع اعمال مهمة .

نهضة علم المحيطات البيولوجي - إن دراسة الحيوانات البحرية المزدهرة في القرن التاسع عشر قد تكثفت في القرن العشرين وارتدت مظهراً جديداً . فالبعثات الجارية بواسطة سفن منفردة زالت تدريجياً أمام الحملات الكبرى الدولية ، في حين أدى التقدم التقني إلى تحولات عميقة وساعد على انجازات كانت حتى ذلك الحين غير واردة .

وتكاثرت المختبرات البحرية التي انشئت في القرن التاسع عشر ، عبر العالم ؛ فمن سنة 1920 حتى 1930 تم تجهيز أكثر من سبعين مختبراً جديداً وأكثرها نشاطاً أصدرت مجلة دورية تنشر الأعمال التي تقوم بها .

إن السفن المحيطية تابعت دوراتها . وفيما بين الحربين ، قامت ميتيور (المانيا) ، وميركاتور (بلجيكا) ، وديسكوفري I وII باستكشاف الأطلسي ؛ وتحولت ويلبرود سنيليوس (البلدان المنخفضة) في ارخبيل لاسوند ، وقامت دانا I (دانمارك) برحلة حول العالم . نذكر أن السفينة الفرنسية « بوركوابا » ؟ (قبطان شاركوه) غرقت سنة 1936 مع كل طاقمها تقريباً .

منذ 1945 ، امتلكت الدول البحرية الكبرى اسطولاً اوقيانياً تتفاوت درجة غناه . فالنروج كان لها بها ارموير ، وهانسن ، وبراتغ ؛ والسويد كان لها الشراعية الباتروس ، وني سكاجيراك؛ والدانمارك كان لها ثور Thor ، ودانا I ، ودانا II ؛ ولكن الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي ، وانكلترا واليابان كانت الاكثر غنىً بالأبنية المحيطية .

وامتلكت الولايات المتحدة عدداً كبيراً من المختبرات البحرية والسفن البحوثية ؛ فقامت منذ سنة1960 ببذل جهد جديد ومهم في مجال التجهيز مما مكنها من الاحتفاظ بتقدمها . وهذا التفوق ينافسها فيه في الوقت الحاضر النمو السريع في الاسطول المحيطي للاتحاد السوفياتي ، المزود بعشر من السفن الحديثة الجديدة التجهيز : ڤيتياز ، لومونوسوف ، ايكافاتور ، اوب ، الخ . التي يتجاوز بعضها ستة الاف طن . قامت هذه العمارات بحملة واسعة استكشافية ، خاصة في السنة الجيوفيزيائية الدولية (1957-1958) ، والنتائج الحاصلة بفضل ڤيتياز ، في الباسفيك ، منذ 1949 ، مهمة للغاية . واليابان بحكم أنها المنتج الاول العالمي لسلع البحر ، اهتمت أيضاً بالتطبيقات العملية ، وبتطور صناعات الصيد كما اهتمت بالبحث النظري ، وذلك بالمساهمة الناشطة باستكشاف المحيط الباسفيكي والبحار المجاورة . وبريطانيا ، باسطولها المحيطي المؤلف من ثلاث عشرة وحدة ، تابعت عمل الاستكشاف البيولوجي الذي افتتحته بإشراق في القرن الماضي ، ومن بين العمارات الخمس الفرنسية المجهزة من أجل البحث المحيطي ، قامت اشهرها ، كاليبسو ، المزودة بمعدات تقنية اصلية ، ومنذ 1951 ، وتحت امرة الربان كوستو Cousteau ، بجولات في المتوسط وفي البحر الاحمر ، ويمتلك المعهد العلمي والتقني للصيد ، أيضاً ، سفينة صممت لدراسة الاسماك المهاجرة .

وبلغت الاستكشافات ، حتى سنة 1940 ، في اقصاها 6000 م عمقاً ؛ وفي سنة1910 ، حقق امير موناكو على اليخت الاميرة ـ آليس ضربة شبكة جيبية بعمق 6035 م . وفي سنة1947 ، حققت السفينة الباتروس (السويد) ، بخلال رحلة دامت 15 شهراً ، في المحيطات الاطلسي والباسيفيكي والهندي ، محاصيل من اعماق تبلغ 7900 م ؛ ثم في الفترة 1950-1952 ، قامت السفينة غالاتيا (الدانمارك) بنشر اشباك على اعماق تتراوح بين 9800 و10200 ، قامت في غور الفيليبين ؛ وأخيراً تم اكتشاف اغوار الباسيفيك (غور ماريان) منذ 1953 من قبل ڤيتياز (الاتحاد السوفياتي) وكان العمق الاقصى الذي بلغته هو 11034 م .

إن السفن الاوقيانية العلمية الحديثة تمتلك اجهزة أكثر ملاءمة لانجاز العمل . إن الملفافات القوية ، المزودة بكابلات (خطوط ـ اسلاك) طويلة من المواد البلاستيكية (اللدائن) يعادل ثقلها النوعي ثقل الماء ، هي ذات تداول اسهل . والمسابر ذات المعايير فوق الصوتية ، أو روائز

الصدى تسجل بصورة تلقائية العمق العامودي ، بين السفينة وطبيعة القاع . وتتيح مسابر التربة تحديد تتابع الترسبات البحرية ؛ وأول هذه الاجهزة ، وكان بدائياً جداً ، انشىء في الولايات المتحدة سنة1935 . إن مسبار كولنّبرغ ، المستعمل في الوقت الحاضر ، يسقط سقوطاً حراً ، ابتداء من عمقٍ ما ، ويدخل في الرسوبيات ، في حين تقوم دافعة (پستون) باحداث الفراغ . وهو يتيح الحصول على عيِّنات ترابية من حوالي عشرين متراً . إن اجهزة الالتقاط والقياس قد تحسنت أيضاً بشكل ضخم . وتم تجديد تقنية التصوير بفضل ما حققه الربان كُوْستو ، من كاميرا خاصة متزامنة مع فلاش الكتروني ، من أجل التقاط صور تحت البحار .

الاستكشاف تحت البحار ـ في القرن العشرين ، فتحت ثورة كبيرة حقاً عصر استشكاف الاعماق البحرية ، رغم أن محاولات غطس تحت البحر قد جربت منذ القرن السابع عشر .

إن مختلف الآلات الغاطسة ترد إلى نمطين أساسيين : اما الآلات التي تترك الضغط الخارجي يضغط على جسم الغاطس ، وأما أن يبقى الغاطس ، محبوساً في مقصورة عازلة ، وخاضعاً للضغط الجوي . إن قميص الغطس المستقل ينتمي إلى النمط الاول .

وبعد عدة محاولات ، حسن الفرنسيان روكيرول ودانيروز صدرية الغطس المستقلة التي صممها كابيرول (1839) ، باستعمال محدد يؤمن توزيع الهواء المضغوط بضغط العمق الذي حققه الغاطس . ولكن القميص الغطسي الحقيقي المستقل صممه لوپريور سنة1926 ثم حسَّنه سنة 1943 ي . كوستو و(. غانيان ؛ إن المخفض اوتوماتيكي ، وقنينة الهواء المضغوط تكون على ظهر الغاطس . والاجهزة التنفسية تعمل الآن بشكل حلقة مغلقة . والماسك (الكمامة) ، والمسابيح (السعف الدافعة) والقمصان العازلة تكمل التجهيز .

وبفضل قميص الغطس المستقل ، شُرِع في استكشاف الاعمال الساحلية من قبل العالم الحيواني الفرنسي پ . دراك Drach حوالي سنة1946 ، وقد تطورت البحوث بشكل خاص في المتوسط وفي البحار الاستوائية . واستكشاف المغاور تحت البحار ، وتفحص الحيوانات في الصخور الحشفية المرجانية ، وعلى العموم دراسة حيوانات ونباتات قيعان البحار الشاطئية حتى عمق ستين متراً كان ممكناً بهذه الوسيلة .

إن استكشاف الاعماق الكبرى لم يكن ممكناً إلا بمعدات من النمط الثاني ، بسبب الخطر الذي تحدثه الضغوطات الكبرى . وهناك ثلاثة اسماء تذكر هنا : الاميركيان وليم بيبي Beebe ، واوتيس بارتون Barton واسم السويسري اوغست بيكارد الذي صمم غواصة الاعماق .

وفي سنة1930 ، نفذ بيبي أول غطسة بواسطة كرة الاعماق ، على عمق 240 م ؛ في سنة 1948 ، بلغ 1360 م . وفي حين تشكو كرة الاعماق من أنها تعلق بسلك ، فإن حجرة الاعماق هي بالون اعماقي تشكل حجرته العازلة كرة من فولاذ تستطيع حمل ضغط هائل . والعامل الداعم والموازن هو سائل خاص . وبسبب الصعوبات التقنية ، لم تكن التجربة الاولى التي حققها بيكارد سنة1946 بواسطة « فنرس » (F. N. R. S) الثانية ، إلا نصف نجاح . ووضع مهندسو قسم الهندسة

(الجيني) البحريون الغواصة فنرس الثالثة ، وهي غواصة صغيرة لـلاعماق الكبـرى واول حجرة للاعماق صالحة للاستخدام . وحقق الربان هـووت والمهندس ويلم ، في 16 شباط 1954 غطسة بعمق 4050 م قـرب سـاحـل دكـار . وتلتهـا مـائـة من الغـطسـات في المتـوسط ، والاطلسي والباسيفيكي ، ساهم فيهـا علماء طبيعيـون متنوعـون . واستخدمت السفينـة تريست ، وهي غـرفة صممهـا آ . بيكـار ، من قبـل البحـريـة الاميـركيـة . وفي 22 كـانـون الثـاني سنـة 1960 ، بلغت عمقاً يزيد على احد عشر ألف متر في اغوار جزر ماريان . وهنـاك غرفـة للغطس فـرنسية جـديدة ، أرشيميد (ارخميدس) صممت لتبلغ اعماقاً مماثلة ، وقد قامت بمهمات بحوث على غمق 9500 م سنة1962 . وهناك مشاريع قيد الدرس ، وخاصة مشروع غرفة غطس متوسطة من الالومنيوم ، لعمق يبلغ 4000 م كما هناك مشروع غاطسة نووية .

وافتتـح كتـاب ج مـورّاي Murray وج هجـورت Hjort « أعمـاق المحيط » (1912) علم المحيطات الحـديث . وبعـد ذلـك درست الشـروط الفيـزيـائيـة الكيميـائيـة للمحيـطات ، عبـر الاستكشـافات المتنـوعة . ووضعت خـارطات لاعمـاق المحيطات ؛ إن طبـوغرافيـا الاعمـاق قـد بدأت . ودرجة الحرارة والملوحة في المياه قد سجلت . وكانت النتائج البيولوجية أكثر غنى .

ومنـذ 1911 نشر ك . ج . ج . پترسن مع پ . ب . جنسن دراسـة مهمة متخصصـة حـول حيـوانات عمق المحيط . واهتمت البحـوث اللاحقـة بمجمـل الاحيـاء البحـريـة (بـالمـظاهـر ، وبالكثافة ، وبالترتيب) ، وبجماعات طبقات الأعمـاق ، والأغوار والأخـاديد ، وبتـوزيع الحيـوانات المحيطية ، بحسب العمق ، وبثروة الحيوانات المحيطيـة والقاعيـة ، وبوصف الانـواع والعائـلات الجديدة ، وبسلوك الحيوانات .

وكانت دراسة الحيـوان الاغواري ، الحـديثة نسبيـاً ، موضـوع العديـد من المداخـلات في المؤتمر الدولي الاول حول علم المحيطات (نيويورك 1959) . فقد شاخت نهائياً الفكـرة القديمـة القائلة ببحر لا حيوان فيه ؛ فـالاعماق كلهـا حتى حدود أحـد عشر ألف مترٍ تأوي حيـوانات كثيـرة بصورة غنية وخاصة .

وبواسطة صـدرية الغـطس المستقلة ، أصبح الاستكشـاف البحري ممكنـاً حتى حدود ستين متراً . ولما كانت غرفة الاعماق قلّمـا استعملت إلا انطلاقـاً من ألف متر ، فـإن المنطقـة الوسيـطة بقيت بدون استكشاف . وجاء « الصحن الغاطس » ذو الدفع النفاث ، كما تصـوره ي . كوستـو ، وهو المحقق الكبير في مجال المحيطات الادواتي الحديث ، ليسد الفراغ جزئيـاً حين الرصـد حتى حدود 400 م .

وهكـذا ثـوّرت صـدريـة الغـطس المستقلة ، والصحن الغـاطس ، وغـرفـة الأعمـاق ، علم المحيطات الحديث . ولكن من الممكن أن يعرف المستقبل انجازات أكثر جرأة أيضاً .

اعـلاق البحر ـ هـذه الكلمـة علق (جمـع اعـلاق) (Plancton) ابتكـرهـا الالماني هنس Hensen سنة 1887 ليدل بها على كل الأجسـام الحية التي لا تستطيع مقـاومة تيـارٍ بحريٍ وتعجـز عن

القيام بحركة موجّهة لامدٍ طويل . وقد اتاحت محاصيل كثيرة دراسة حيوانات ونباتات وبكتيريا موجودة فيها . ولكن البحوث اتجهت أيضاً إلى فحص كمي يوضح العلاقات بين المجموع الاحيائي وبين البيئة أو الوسط .

وذكر ج پروفوه Pruvot الفقر الحيواني ، الذي يصيب مياه البحر المتوسط . وأكد جاسپرسن Jasperson سنة1932 هذه الملاحظة ، وقرر وجود علاقة بين الثروة الحيوانية في المياه البحرية ونسبة النترات والفوسفات فيها ، علاقة تأكدت من قبل ج . شميدت (1928-1930) . وبتحسين التقنيات ، تم أخذ مقتطعات بصورة منهجية مقرونة بقياسات فيزيائية كيميائية ، وبصورة رئيسية من قبل البيولوجيين الانكليز ، والالمان والسكندينافيين . وقد اثبتت هذه التحليلات مفهوم الانتاجية . ودرس علم المحيطات الدانمركي الاحياء النباتية في البحار فبيّن أن مردود التخليق الضوئي هو في البحر اضعف منه في البر .

علم البحيرات ـ ولد علم البحيرات في القرن التاسع عشر ، وتحدد سنة1922 في المؤتمر الدولي في كييل وكأنه علم المياه الحلوة . فهو يدرس العوامل الفيزيائية ـ الكيميائية في البحيرات والمستنقعات ، والمياه الجارية ، ويدرس جماعات المياه الحلوة ، والاتحاد النباتي الحيواني ، وعلاقته مع ظروف المكان . وكانت تربية الاسماك في البرك أحد تطبيقاته المباشرة .

والمؤلفات حول علم البحيرات الاساسية هي مؤلفات ر . دمولّ وم . ماير (شتوتغارت ، 1925 -1942) ، ومؤلفات آ . تيينمان (شتوتغارت ، 1925 -1942) وپ . س . ولش (نيويورك ، 1935) و روتنر (برلين 1940) ، الخ .

وكان ل . ليجي ول . كريتمانّ الرائدين في علم البيولوجيا المائية الفرنسية . فمنذ 1910 ، درس ليجي سكان مجاري المياه في « سالمونيد » وحدد مفهوم الطاقة التوليدية الاحيائية التي تعبر عن القيمة الغذائية في مجاري المياه بالنسبة إلى السمك . ودعا إلى طريقة منهجية لرسم الخرائط والمخططات التربوية السمكية ، اعتمدت سنة1925 . في سنة1945 ، عَرَضَ اسس الاقتصاد البيولوجي انتاجية أنهار السيپرينيد (Cyprinides) وتأليفه مهم في مجال ابراز قيمة المياه الجارية .

في سنة1925 أوضح ل . و . كولّيت Collet مختلف أصول البحيرات ؛ إن العوامل الحرارية تمارس تأثيراً عميقاً على السكان (ج . موقي ، 1929) ؛ إن التيارات التي يثيرها الهواء أو درجة الحرارة قد درست من قبل كريتمان ومن قبل مركانتون ؛ إن التركيب الكيميائي لمياه البحيرات وأنواعها قد حللت من قبل العديد من المؤلفين . ووضع أ . نومان وآ . تينيمان تصنيفاً بيولوجياً للبحيرات يرتكز على مقارنة سماتها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية .

إن إعداد البحيرات لتربية الأسماك قد دعا إليه العديد من المؤلفين ، واجريت محاولات تجريبية في بحيرة ليمان (ل . كريتمان) ، وفي بعض بحرات منتجة للسرطانات . إن العديد من الاعمال قد حللت تركيب مختلف مجموعات المياه الحلوة .

وعلى نفس مستوى المختبرات البحرية ، أنشأت البلدان المختلفة مختبرات مائية بيولوجية ؛ في فرنسا مثلاً ، عدا من المختبر الذي أسسه ليجي Léger في غرنوبل ، اقيمت محطات أخرى . محطة بحيرة بورجي (1933) ، ومراكز ثونون ، وپاراكلي (1939) ، ومركز البحوث البيولوجية المائية التابع للمجلس الوطني للبحوث العلمية (جيف ـ سور ـ ايفت) .

الحيوانات التخللية ـ [أي في المياه تحت السطح تحتويها الفراغات بين الصخور والرواسب] ـ كان جيادر Giard والاميركي كوبّ رائدين في دراسة هذه الحيوانات الخاصة التي توجد في المياه القارية كما في المياه البحرية .

والعديد من علماء البحيرات تخصّصوا في فحص الحيوانات التخلّلية في المياه القارية ومنهم : السوفياتي ساسوشين Sassuchin (1927) ثم البولوني ويسنيومكي Wiesniewky ، والاميركي پينّاك ، والفرنسي ـ السويسري پ . آ . شابويس ، والنمساوي روتنر ـ كوليسكو ، والفرنسي أ . آنجليه ، والروماني موتاس . والعديد من الانواع الجديدة قد اكتشف في المجال الحيوي الذي دُرس .

ومنذ 1934 ، درس الالمانيان ريمان وشولز حيوانات المياه الجوفية الشاطئية ، والحيوانات الميكروسوبية القاعية في الرمال . في فرنسا ، قامت بحوث مماثلة حوالي سنة1950 في بانيولس وروسكوفّ باشراف ج بتي وج . تيسييه . ودرس فوري ـ فرمييه بصورة خاصة الحيوانات الميكروسكوكبية الرمالية . وانطلاقاً من مراكز كييل وبانيولس وروسكوفّ ، انتشر هذا النوع من الفحوصات في مختلف البلدان ، خاصة في السويد .

حيوانات المغاور ـ إن وجود الحيوانات في المغاور معروف منذ بعيد .

منذ القرن السابع عشر كان من المعروف أن فقرياً مائياً يعيش في مغاور كارنيول ؛ ووصفه لورنتي 1781 تحت اسم « بروتس انغينوس » . في هذه المغاور الشهيرة اكتشف أيضاً أول حيوان كهفي أرضي عرّفه ف . شميدت سنة1832 . هذا المغمد الاجنحة لبتوديروس هو هنوراتي تميز بشفافية جلده الخارجي ، وبطول ونعومة زوائده ، وبعماه وبمَعدته الطبيعية . حفز هذا الاكتشاف الفضول وادى إلى تطوير البحوث البيولوجية في المغاور في العديد من البلدان .
إن الاستكشاف المنهجي للمغاور والكهوف قد بدأ سنة1870 في البلقان وتم عندها وصف الحشرات الكهفية في جبال الألب الدينارية . ثم قام علماء حشرات طليان وفرنسيون باستكشاف كهوف ليغوري وتوسكانه والبيرنيه وجمع و . هامان المعارف المكتسبة (حيوانات أوروبا ، 1896) .

في مطلع القرن العشرين حفزت البحوث من قبل ر . جانيّل Jeannel وأ . راكوفيتا Racovita .

وتمت الاستكشافات الاولى التي قام بها جانيل في جبال البيرنيه، واستكشافات راكو فيتا في مايوركا . وتعاون هذان الاختصاصيان طيلة أكثر من ثلاثين سنة ، فنظما حوالي خمسين حملة ، زائرين وواصفين أكثر من 1200 كهف في أوروبا وإفريقيا واميركا .

واسندت دراسة المحاصيل لمختلف المتخصصين ؛ وتدريجياً تثبتت السمات الخاصة وثروة هذه الحيوانات الكهوفية. وقدّم هـ . ساندل سنة1926 جدولاً بالانواع المائية القاعية ، ونشر جانيل « الحيوان الكهفي في فرنسا » . وتم وضع جدول مماثل لبلجيكا من قبل ر . لروث (1939) ، في حين نشر ب . وولف « كاتالوغ الحيوانات الكهفية » (1934 -1937) . وصدرت نشرة تخصصية بعنوان : « ميت . هوهلن انـد كرستفور شونـغ » منذ سنة 1930 . كذلك فإنّ حيوانات الكهوف الاصطناعية ، وخاصة سراديب المناجم ، قد درست أيضاً .

المختبرات تحت الارضية ـ إن الحاجة إلى تنظيم مختبرات متخصصة قد فرضت نفسها بسرعة من أجل امكان تربية حيوانات الكهوف ومن أجل تنظيم البحوث التجريبية حول هذه الحيوانات الخاصة .

إن أول مختبر أرضي ، أنشأه فيريه Viré سنة1897 ، تحت بستان النباتات في باريس قد تدمر بفعل فيضان سنة1910 . وفي سنة1930 نظم ج . آ . پركو Perco محطة حقيقية احيائية كهفية ، في سرداب في غار آدلسبرغ (پوستونيا) . في فرنسا انشىء مختبر تحت أرضي بادارة آ . ڤاندل من قبل المجلس الوطني للبحوث العلمية في سنة1954 ، في كهف مولي (ارياج Ariège)، في وسط منطقة غنية بشكل خاص بالكهوف . وهناك مختبرات أخرى تحت أرضية انشئت في جبال الكارباث ، في رومانيا وفي اميركا .

إن البحوث الاحيائية الكهوفية ، تهتم بصورة رئيسية بتطور الحيوانات الكهفية ، وفيزيولوجيتها، وفي تركيب صلصال الكهوف وقيمته البيولوجية .

تأكدت مدام دولورانس Deleurance إن نمو مغمدات الاجنحة الكهوفية يتم في البيضة وأن المرحلة اليسروعية تكون تقريباً مخفية . وتبدو الحيوانات الكهفية ذات ايض شيخي هرم . ولاول مرة (1958) تكاثر الضفدع المبرقع (الابيض) والاعمى في موليس . وكانت اليرقات سوداء وذات عيون . وبخلال النمو فقدت الوانها وانحسرت العين . هذا التراجع المزدوج ناتج عن اوالية غددية صمائية : عدم حفز النخامية بالضوء ، وتباطؤ نشاطها بفعل درجة الحرارة المنخفضة السائدة في المكان . إن اهمية دور الصالصال ، وهو بيئة حية غنية بالميكرو ـ أجسام ، قد ثبتت بفضل ف . كومارتن (1957) .

حماية الطبيعة ـ سنة 1872 ، انشىء بموجب قانون صادر عن الكونغرس في الولايات المتحدة الاميركية ، « بارك يلوستون الوطني » (Yellowstone National Park) . وفي سنة 1898 ، نظمت جمهورية الترانسفال ، من أجل المحافظة على الحيوانات البرية « سابي غيم ريزرف » الذي تحول ليصبح « كروجر ناشيونال بارك » (1926) . إن هذه الانجازات كانت المظاهر الاولى لمفهوم هو حماية الطبيعة ، ازدهر وتقدم في القرن العشرين .

هذه الحماية ، التي اعتبرت لمدة طويلة كاحساس عاطفي وخيالي ، أخذت تُدرس بموضوعية . وأهميتها في مستقبل الحضارة أخذت تُكتشف ؛ ان التدني ثم الزوال الكثيف للعديد

من الأنـواع الحيوانيـة والنباتيـة أخاف الأفكـار . وساد الاهتمـام بالـوسائـل التي من شأنهـا أن تحفظ الثروات الحيوانية والنباتية ؛ ووضعت برامج وأنظمة .

وفي سنـة1900 وقعت الدول ذات المصـالح في افـريقيا ، في لنـدن ، اتفـاقـاً يؤمن حمـايـة الطريدة . وعقد أول مؤتمر دولي لحماية المناظر الطبيعية سنة1909 . وجلسـت أول لجنة استشـارية للحماية الدولية للطبيعة ، في برن سنـة1913 . وعقد أول مؤتمـر دولي لحمايـة الطبيعـة في باريس سنة1923 . وفي سنة1925 افتتح البارك الوطني « بارك البرت » في الكونغـو البلجيكي يومئـذ . في سنة1933 وضعت اتفاقيـة لندن اسس الـدفاع والحمـاية ، لحيـوانات ولنبـاتات افـريقيا . ووضعت تعـريفاً لعبـارة المحجر « بـارك وطني » ، ولعبارة « حمى طبيعي متكـامل » . وفي سنـة1934 صدر مرسوم بإنشاء مؤسسـة « المحاجر » الوطنية في الكونغو البلجيكي ، ذات السمة الدولية .

في سنة1948 قرر مؤتمر دولي انشاء الاتحاد الدولي لحمـاية الـطبيعة ، الـذي تأسس رسميـاً سنـة1954 تحت رئاسة ر . هيم Heim . وبعـد ذلك أصبحت حمـاية الـطبيعة واقعـاً يتجاوب مـع أهداف محددة . ووضعت البرامج ، ونوقشت النتائج بخلال مؤتمرات أو محاضرات .

كل هذا يشهد بتسرب فكرة حمايـة الطبيعـة . وقد أظهـر الاتحاد الـدولي عن نشاط محمـود واتخذت مبادرات متنـوعة . وانشئت « مـلاذات للطبيعة » محميـة في اميركـا ، وافريقيـا وحتى في اوروبا . وكانت النتائج بارزة ؛ وبفضل تدابير صارمة ، تكاثرت الشاموا والمارموت [حيـوان قاضم لـون ينام الشتاء] بالوعول . وفي فرنسا ، ساعد مخلف « حمى » كامارغ ، والمخالف الطيورية ، في ست ـ ايل وفي كاب فريهل الخ . على اعادة تأهيل انـواع مختلفة . وفي العـديد من البلدان ، ما تزال توضع مشاريع انشاء جنائن وطنية « پارك » أو حمايات (أي مخالف) .

الجغرافية الحيوانية (زووجيوغرافيا) ـ في سنة1913 ، وضـع غادو بيـاناً بتـاريخ الجغـرافيا الحيوانية وسماتها الاساسية . ولشرح التوزيعـات الحيوانيـة ، لم يتردد علمـاء الجغرافيـا الحيوانيـة عندئذ في قبول فرضيات مغامرة . من ذلك أن الكثيرين حاولوا أن يبرروا نظرية الحيـد أو الانحراف في القارات والتي وضعها ويجنيـر (1911) التي بدت ملائمة مـع التوزع الخـاص لبعض الانواع . وبالمقابل فضل آخرون اللجوء إلى فرضيات القارات الجسـور .

في سنة1915 أثبت الكتاب المهم الذي وضعه و . د . دي ماتيو ، « المنـاخ والتطور » بـداية الجغرافيا الحيوانية الحديثة .

اعتبـر ماتيـو أن المناخـات قد تحكمت بـالتـطور ، فـوصف ، من منـظور تـاريخي ، تـوزع الحيوانات الارضية عبر التاريخ الجيولوجي ؛ وبين عدم جدوى القارات المفترضة العابرة للباسفيك أو للأطلسي ، إن العلاقـات الوسيـطة (الدهـر الوسيـطي) والثالثيـة بين آسيا واميـركا الشماليـة وبرزخ باناما هي كافية لتفسير توزع الثدييات . وخلافاً للنظريات المقبولة عموماً ، كان لهذه الافكار تـأثير كبيـر ، ووسعها بـاحثون في « المتحف الاميـركي للتاريـخ الطبيعي » تحت اشـراف و . ك . غريغوري Gregory .

في سنة1922 في « عمر ومناطق » رأى ج . ك ويليس أنّ أبعاد مساحات الانواع تابعة لاعمارها ؛ فالانواع الشابة تلائمها مساحات صغيرة ، والانواع القديمة تلائمها مساحات كبيرة . وتركت هذه النظرية لصالح التحديد البيئي . في سنة1924 حلل ر . هس المظاهر البيئية في الجغرافيا الحيوانية . إن توزع الحيوانات مربوط ، من جهة ، بالعوامل المناخية والاحيائية ، ومن جهة أخرى ، بالمنافسة وبالتعاون مع الافراد الآخرين .

إن التوزيع الجغرافي للحيوانات الارضية والمائية كان موضوع العديد من النشرات ومنها عموماً مؤلفات إكمان (1935) ونيوبيجين (1950) وتينيمان (1950) وبوفورت (1951) وپ . ج . دارلنغتون (1957) . وفي فرنسا ، كان قيد الاعداد أطلس للجغرافيا البيئية ، مؤلف من خرائط مشروحة ، مخصصة للتوزيعات الجغرافية الحيوانية والنباتية .

إن الاعمال التي قام بها ارلدت (1907 ، 1938) ، وجانيل (1935 ، 1940) ، وسمپسون (1940) ، وماير ومعاونوه (1952) تدل على الاهتمام الملح الذي يحمله علماء الجغرافيا الحيوانية تجاه سبل الهجرة التي سلكتها الحيوانات عبر العصور . إن وجود قارة غوندوانا الشهيرة ، قد وضع موضع الشك ، خاصة من قبل ج . ميلّوت (1952) .

وظهر اتجاهان بين علماء الجغرافيا الحيوانية المعاصرين : البعض يرى أن هذا المجال هو فرع من علم البيئة ؛ أما الآخرون الذين يهتمون بالناحية التاريخية ، فيدرسون تنقلات الحيوانات عبر التطور ، مع اهمال ، نوعاً ما ، للتوزيعات الحالية .

إلا أنه إذا كانت هذه التوزيعات تفسر بالتوزيعات القديمة ، فالعكس هو أيضاً صحيح . ولهذا يبدو وكأن الجغرافيا الاحيائية (الجغرافية الحيوانية والنباتية) يجب أن تعتبر كدراسة تطورية مرتبطة تماماً بعلم البيئة وبعلم الاحاثة .

IX ـ علم السلوك (ايتولوجيا)

تدرس الايتولوجيا سلوك الحيوانات في مجمله . منذ حوالي عشرين سنة ، أصبح لهذا العلم مناهجه الخاصة . لقد قامت ثورة في مجال علم النفس الفيزيولوجي . وبتأثير من الموضوعيين المغالين ، ترصد الحيوانات في اماكنها ، وليس في المختبر .

إن السلوك الفطري الذي ليس له أي رابط بالمكتسبات الفردية يتضمن الانعكاسات والانتحاءات أو التصنيفات (Taxies) والغرائز . والانعكاسات ، وهي اجوبة جزئية على تحفيز ما ، ليست سلوكاً حقة ، ولكنها تشارك بالسلوكات المعقدة وبالانتحاءات وبالغرائز .

الانتحاءات ـ إن المفهوم العام للانتحاء الحيواني المقرر من قبل ج . لوب (1890) قد

تعدل فيما بعد وتوضيح (جيننغز ، 1906 ؛ بوهن Bohn 1921 ؛ ك . هرتز 1924-1940 ؛ ڤيو 1938-1956 ، الخ) .

ويجري تمييز مجموعتين من التفاعلات المحركة الموجهة جواباً على اثارات طبيعية فيزيائية :

1 ـ التفاعلات الخاضعة لقانون ذروة الاثارة ، أو الانتحاءات الحقة ، التي هي إجابات غير تكيفية .

2 ـ التفاعلات التي تحاول أن تجعل الجسم ضمن شروط تمهيدية من التحفيز أو انتشاله من أثر الحوافز : إنها انتحاءات كاذبة أو معاينات .

في الوقت الحاضر ، تتوافق مع الانتحاءات أو التصنيفات القديمة السلوكات القصوى التي تتضمن انتحاءات حقة ومعاناة (انتحاء صوتي ايجابي أوسلبي) والسلوكات التفضيلية ، وتتضمن حالات المعاناة (الانتحاء الحراري ، والانتحاء المائي . . .) . والانتحاءات وحالات المعاناة لها سمات مشتركة ؛ إنها ردات فعل تجاه حافزات ـ عوامل غير ذاتية ؛ إن هذا الانفعال ، لا يمتلك دافعاً كما تدل على ذلك تجارب تيتشاش Titschach (1922- 1926) ، وهـ . برخت Precht (1952) . ولكن الانتحاءات والمعاينات تختلف من الناحية السيكولوجية الفيزيولوجية ، فالانتحاءات الحقة لا تقتضي تكامل صحة النظام العصبي وتظهر في أي قسم حيٍ وناشط من الجسم (بانكروفت ، 1904 ؛ سيمنسكي ، 1929 -1934 ؛ ڤيو 1949 -1953) . وبالمقابل أن المعاينات تتطلب سلامة المراكز العصبية عند الحيوانات ذات النظام العصبي المركزي (هس ، 1924 ؛ ڤيو ومديوني ، وشيمنسكي) .

الغريزة ـ إن الغرائز هي سلوكات ذات تحديد داخلي مسيطر . وهي تمثل ردات فعل ادراكية تجاه اوضاع وتجاه اشياء .

والغريزة اعتبرت ، في أغلب الاحيان ، كشكل من النشاط غامض ، ولذا كانت لها سمعة سيئة ، خاصة في فرنسا . وبناء عليه لم يكن لها أي مكان في « موسوعة علم النفس » الشهيرة التي وضعها ج . دوماس . إلاّ أن مسألة الغريزة تبقى قائمة . وقد وضعت لجنة مصغرة دولية (عقدت في باريس سنة1954) ، تركيبة ممتازة للمعارف حول هذا الموضوع .

إن المناقشات حول العلاقات بين الغرائز والانتحاءات تعود إلى تحولية الغرائز إلى انتحاءات وإلى انعكاسات . يرى البعض إن الغرائز ليست إلا سلاسل من الانتحاءات والانعكاسات المنطلقة تباعاً بفعل حوافز خارجية (بوهن ، رابود) ؛ وبرأي هؤلاء الباحثين، تجمع كلمة غريزة ظاهرات مشتتة مجموعة عشوائياً . إن هذا التصور المرتكز بشكل خاص على تجارب مختبرية والذي يعزل كيفياً بعض التفاعلات ، ربما اثر على افكار ج . ب . واطسون .

إن هذا الاخير وهو أب السلوكية ، قد حذف من علم النفس العلمي ، الفكر والوعي ،

واحل محلهما السلوك (1914) ، مفتتحاً دراسة موضوعية للوقائع ، ومبينا كل الصعوبات الحاضرة ، حتى في سلوك بسيط . وهكذا خلق حالة فكرية تساعد على الموضوعية .

وبعدها تطورت النظريات الموضوعية تحت تأثير ك . لورنز الذي عرف كسابقين له آ . ر . والأس ، هينروث (دي فوجل ميتل أوروبا ، 4 مجلدات ، 1924 -1928) ؛ ت . هوكسلي . إن اطروحات لورنز (1930) قد شرحت ووسعت من قبل ن . تنبرجن ، كولر ، بايرندمس وثورب .

كان لورنز طالباً شاباً فتبع محاضرات ماك دوغالّ ، واندهش من أن هذا الاستاذ الشهير ، لا يراقب أبداً حيواناً خارج المختبر ، في حين أنه هو كان مولعاً بمراقباته للبط البري ، وحاول لورنز ، ثم تنبرجن ومجموعة من المتحمسين الطبيعيين للارض ، وهم يرصدون سلوك الحيوان ، التفتيش عن مبدأ تفسيري . إن الاشياء التي تحكم النشاط الحيواني هي بواعث (دوافع ، مُطلِقات) أو هي حوافز اشارات : مثل بقع ملونة في منقار النورس ، خصلة من الريش في عنق ابو الحن ، الخ . إن البواعث ، الموجودة بالمئات لدى الحيوانات ، تفسر العديد من الخصوصيات التشكيلية الخارجية ودورها الفيزيولوجي .

والحيوانات الدنيا التي لا يشكل العالم الخارجي بالنسبة لها سوى حاشية (مركولت Merkwelt) (فكسهول Vexhull 1921) تعرف أشياء العالم بعدد قليل من الاشارات . وبالنسبة إلى الحيوانات العليا ، يشكل العالم « جيجن ولت » (Gegenwelt) معروف بالعديد من الاشارات المميزة التي قد تتناوب في اطلاق التفاعلات الغريزية (قاعدة أكثرية الحوافز ، ب - ب . غراسّي) ، وقد تتجمع ، باعتبار أن إشارة واحدة تكون بدون أثر (قاعدة الانذارات المختلفة ، لورنز وتنبرجن) . إن المطلق يطلق لدى الحيوان سلسلة من الاعمال البسيطة أو المعقدة ، هي ذاتها دائماً (سلسلة متتالية) تتوالى ضمن نظام محدد (عادة التناسل ، والتعشيش ، الخ) إلى أن يقع العمل النهائي (العمل الاستنفادي) ؛

وضمن المنظور يتضمن السلوك الغريزي :

1 ـ سلوك اشتهاء سببه التحفيز ، وهو سلوك استكشافي أو بحثي عن الغرض الذي يمكن أن يرضي الميل . وزخم ردة الفعل الغريزية يتعلق بقوة الحفز ، وهذا الحفز هو في أغلب الاحيان ذو علاقة مع مدة الحرمان الذي يخلق الاحتياج . واقترح لورنز (1949) رسيمة مائية ليبين أن « طاقة داخلية النمو » تتراكم داخل الجسد اثناء الحرمان . وتنطلق طاقة داخلية النمو كافية ، تحت تأثير الحافز الملائم لتتفرغ بردة فعل غريزية .

2 ـ عملاً استنفادياً يثيره ادراك الإشارة الملائمة . هذا النشاط داخلي النمو وأوصافه الوراثية تظهر في « النشاطات الفارغة » .

وأطلق تنبرجن الفرضية القائلة بأنّ النظام المتراتب مع التفاعلات يتوافق مع تراتب في المراكز العصبية ، باعتبار المراكز العليا ركائز الحفز . والمراكز الثانوية تسيطر على الاعمال الاستنفادية .

من مجمل السمات ، يتحصل أن تعارضاً يتواجد بين الانتحاءات والمعاينات من جهة ، وبين الغرائز من جهة أخرى . وإذاً فالمسألة التي تقول برد الغرائز إلى الانتحاءات لم تعد تطرح . ومع ذلك فالانتحاءات والمعاينات الا يمكنها أن تساهم في السلوك الغريزي ؟ لقد جرى تحليل غرائز معقدة من أجل محاولة استكشاف حصة الانتحاءات فيها .

إنّ صنع شبكة العناكب المحجرية (الواقية) قد درس بعناية . وعولجت عناكب بأدوية تجعل الاعصاب تنحاز ، فنسجت شبكاتها وفقاً للرسيمة الخاصة بها ، حتى عندما كانت وظائف النسج مضطربة . إن بناء الشبكة يقتضي إذاً « سلوكات نمطية » فطرية أو موروثة ؛ إن الانتحاءات تبدو وكأنها توجه التفاعلات الذاتية الخاصة أو هي تصدها .

إن الهجرات الوراثية للاسماك وللطيور تتم وفقاً لنمطين كبيرين (واشز Wachs ، 1926) ؛ أما على جبهة عريضة ، وأما على طرق محددة . والهجرات على جبهة عريضة تتم فوق مساحة كبيرة تتوافق تقريباً مع خطوط تغييرية مساوية لشروط فيزيائية (ضوء ، حرارة ، ملوحة ، الخ) .

إنها انتحاءات أو معاينات تتحكم بالافعال المحركة للحيوان البحري كالاسماك الموسمية (الرنكة والمورة ، أو اسماك المياه العذبة أو المياه الحارة) . إلى هذا النمط بالذات تنتمي هجرات يساريع الانقليس . اكتشف ج . شميدت ، بخلال استقصاء طويل (1905- 1925) إن الحنكليس (الانقليس) الاوروبي تذهب لتتناسل ، فقط ، في القسم الاوسط من بحر سراغاس ؛ والخارطات التي وضعها تدل على أن هذه الهجرات محكومة بشروط فيزيائية مكانية . إن تحول اليساريع إلى افراخ يقترن بتحولات في الانتحاءات نتيجة أثر تضخمي في النخامية (ڤيتر ، 1946) ، أو بسبب نشفان مرتبط بتضخيم الغدة الدرقية عند التحول . ينتج عن ذلك أن الافراخ (بلاعيط) تصعد النهر من جديد . أما الطيور المهاجرة فوق منطقة واسعة فتخضع كذلك ، لتغيرات في الظروف الفيزيائية .

إن الهجرات فوق طرق محددة تعرض بشكل مختلف فهي تقطع خطوط التحارر ، ولا يظهر عليها اهتمام بخطوط تغيرات الشروط الفيزيائية .

إن الاسماك النهر - محيطية [التي تتناسل في المياه العذبة وتعيش في البحار] (كالحنكليس) والأسماك النهرية كالسلمون تقوم بهجرات واسعة (5000 إلى 6000 كلم بالنسبة إلى الحنكليس (الأنقليس)) ضمن طرقات محددة . وتغيرات المكان تظهر للحنكليس كمجمل اشارات توجه الهجرة في المدى البعيد . وهجرتها تبدو عندئذ كغريزة وليس كمجمل من الانتحاءات . إن هجرات السلمون ترتبط أيضاً بمعقد من الاشارات المدركة خاصة بها (شورنغ 1929) . إن التغييرات في العوامل الخارجية تطلق هجرة الافراد ، المعدة فيزيولوجياً (فونتين) . وقد تتدخل الانتحاءات في اطلاق الهجرة ، ولكن الانتقال على طرق محددة واكتشاف المساريء (اماكن توالد السمك) يعود إلى الغرائز .

ترتدي هجرات الطيور نفس مظهر هجرات الاسماك ، فهي مستقلة عن الشروط المناخية

ولكنها محكومة بردات فعل ادراكية هي الغرائز .

وقد نوقش بكثرة اتجاه الطيور المهاجرة . وقد تم تتبعُ تطورٍ منذ الانتحاء الضوئي حتى التوجه سنداً للشمس : توجه ذاكري تكتيكي عند كُهْنِ Kuhn (1919) ، بالنسبة إلى حشرات تتخذ الضوء دليلاً مرشداً ؛ توجه ذاكري تكتيكي يكون فيه الضوء اشارة ، تجارب حول بيات Homing النمل (آ . بْرُن Brun) ، والنحل (أ . ولفّ) ، حول رحلات النحل ورقصاتها (فون فريش) ؛ وأخيراً توجه ذاكري تكتيكي يتعقّد بامكانية تصحيح زوايا السير تبعاً لتغيرات موقع الشمس عند النحلات (فون فريش) ، وعند براغيث البحر والطيور (كرامر ، 1952) .

وقام پ . پ . غراسّي سنة1942 بتحليل انقسام الارضات (دودة الخشب) ، معقد غريزي . ويتدخل بعض الانتحاءات في بداية السلوك أو في بعض المراحل ؛ وكل شيء يتوافق مع تفاعلات غريزية .

إن دراسة الانتحاءات الضوئية والسلوك السمعي ـ الجنسي مرتبطة تماماً بتقدم الفيزيولوجيا السمعية . وقد نشرت تصويبات حول هذا الموضوع حديثاً (هاسكل ، 1961 ، بونيل Busnel ، 1962) . إن بحوث بونيل ومجموعته تقدم تطبيقات عملية ، مثلاً الافادة من تأثر الجراد المهاجر بالاصوات من أجل تحويله عن المناطق الزراعية التي يتهددها بالهبوط فيها ؛ وكذلك الامر بالنسبة إلى الغربان .

في هذه الامثلة ، تظهر الانتحائية بصورة رئيسية ، عند سلوكات الاشتهاء ، ولكنها لا تتدخل في الاعمال الاستفادية التي تمثل اساس الغرائز . ولهذا في الغرائز البسيطة (النفور والميل) يحتل الانتحاء والمعاناة مكانة أكثر اهمية . إن المرحلة الاستنفادية قصيرة جداً .

الظاهرات الاجتماعية ـ إن نظريات لورنز وتنبرجن ترتكز في معظمها على الاستعراض الجنسي عند الطيور ؛ والمتحديات عندها يسهل تمييزها . في فرنسا ، وبتأثير من غراسي ، توجهت الاعمال نحو الظاهرات الاجتماعية ، وبصورة اخص نحو مجتمعات الحشرات .

إن اجتماعات الحيوانات يمكن أن تشكل جماعات لا يوجد بينها أي تجاذب ، فيما بين الأفراد بعضهم تجاه بعض (رابود ، بيكارد) ، مشاركات طفيلية ناشطة متميزة بانجذاب وحيد الطرف ، وداخل النوع ، وأخيراً تجمعات اجتماعية فيها يمارس الفرد حفزاً على اقرانه ، والمجموعة تمارس أيضاً أثراً على الفرد . إن حقيقة الجذب المتبادل ، أو التجاذب المشترك قد ثبتت تجريبياً عند بنات دوران (ليدو Ledoux ، 1945) وعند الجرادة المسماة زونو سيروس (غليوم Guillaume ، 1956)

في المجموعات الاجتماعية ، تصنف تجمعات غير متسقة وبسيطة (بما فيها التجمعات الموسمية ، وتجمعات النوم) وتجمعات متجانسة ؛ إن تجانس الحركات ملحوظ في اسراب الجراديات المهاجرة ؛ بين اوفاروف أن الجنادب المهاجرة تتواجد بشكلين ، شكل منفرد متوحد أخضر ، لائذ في مساحات مولدة للتجمع وشكل سربي ، مع غلبة البرتقالي والأسود فيه ، الذ

يترك المساحات المولدة للتجمع ، ويقوم باتلاف المزروعات كما هو معروف (ظاهرة المراحل عند اوفاروف 1928) .

إن آثار التجمهر (أثر الجماعة المتركزة على الأفراد ، تغييرات تحدثها كثرة العدد على المكان) قد يكون لها أثر جماعي تجاه الظروف غير المؤاتية (بوهن ودرزوينا Drzewina ، 1920 ، آلنّ Allen ، 1923-1934) . إن آثار المجموعة (تأثير متبادل للحوافز الحسية عند الافراد المتجمعين) قد تؤثر في سرعة النمو ، وعلى ايض الحشرات (غراسي ، پارك ، شوڤن ، كيزيموتو) ؛ وقد درست أيضاً عند الحمائم (هاريسون) وعند الاسماك الحمراء (شليفر Shlaifer) .

في التجمعات الاجتماعية يتدخل ، ليس فقط التجاذب المتبادل ، بل أيضاً الاشتهاء الاجتماعي (ويلر Wheeler) أو الدفع الداخلي الذي يجر الحيوان نحو اشباهه . إن التجاذب الداخلي ، مستقل عن الجنس وعن الحياة العائلية ؛ إلا أن الحقبة الجنسية ، وتربية الصغار تسهل تطور المجتمعات .

لقد درست المدرسة الموضوعية بعناية فائقة الروابط الاجتماعية ، والحركات والمواقف التي ترافقها : روابط اجتماعية بخلال فترة السفاد ، اواليات الروابط الاجتماعية قبل وبعد التسافد ، العناية بالصغار ، تعرّف الأبوان إلى صغارهما ، وضع التراتبيات (حيوان ألفا وحيوان أوميغا) لدى الطيور ، لدى الأسماك ، ولدى الثدييات . وخصّص العديد من الأعمال للسلوك الاجتماعي عند الأسماك والحافريات وإنسانيات الشكل .

الاقليم - إن الاقليمية في التنظيم الاجتماعي عند الفقريات هي مسألة مهمة جداً . إن علماء الطيور الأرضية ، هم أول من فكر بمفهوم الأرض أو الأقليم .

يمكن أن يعتبر التوم Altum (1868) كسباق ، وطوراً . هوارد Howard (الاقليم بالنسبة إلى حياة الطير 1920) افكاراً ، بعد أن استقبلت بشكوك ، قبلت أخيراً ، وتم اقتراح امثلة حول الاقليمية ، عند الطيور ، والثدييات ، والزواحف ، والأسماك .

وبالنسبة إلى ارمسترونغ ، تعتبر الارض منطقة محرمة يحميها شاغلها ضد المنافسين من جنسه ، والاقليم بالنسبة إلى الطيور كان موضوع توضيحات (نيس ، 1941-1943 ؛ ارمسترونغ ، 1947 ؛ مايود Mayaud ، 1950) ؛ وعرف نيس وآلّي (1949) خمس فئات من انماط الاقاليم أو الأرض . وتسلك الطيور الاجتماعية مسلكاً خاصاً (لورنز 1938 ، پالمر ، 1941) . وكلما كان المجتمع معقداً ، كلما كان السلوك الاقليمي الفردي ميالاً إلى الزوال ، أمام دفاع جماعي ، من قبل مجموع الافراد . وعند الزواحف يبرز الاقليم الفردي خاصة في حقبة التناسل .

وهناك رابط بين السلوك الاقليمي والتراتب الاجتماعي ، وعرف برت Burt (1943) لدى الثدييات المجال الحيوي (محيط البيت) أو المنطقة المعتادة التي يطرقها الفرد ، والاقليم بالمعنى

الصحيح ، الذي يقتصر على المنطقة المحمية من قبل مالكها ضد اشباهه واقرانه . إن اعتدائية الثديي تظهر فقط في جوار منزله ، ولا يوجد السلوك الاقليمي إلا عند الانواع الوحيدة الزوج أو التي تطبق تعدد الزوجات . والأقاليم الجماعية ملحوظة عند الحيوانات الرأسية [الشبيهة بالانسان] .

الحشرات الاجتماعية ـ إن المجتمعات العليا عند الحشرات ، كالنحل والدبور والنمل والأرضة ، هي متميزة للغاية ومنظمة ، وتبدو في تناهي التعقيد في العلاقات الاجتماعية . إن التجاوب حتى بين الافراد من عشائر مختلفة ، والتحاب الاجتماعي ، يدلان على تطور بالغ وعلى سمة اجبارية .

ثم أن الترابط المتبادل الذي يجمع بين الأفراد المختلفين ضمن المجموعة الاجتماعية هو الاقصى ؛ فالفرد المعزول يعيش بصعوبة (غراسي وشوفين ، 1944) . وعلى العموم ان المجتمع يكون مغلقاً ولا يقبل دخول افراد اغراب ؛ وحدها اللافقريات ، غير الاجتماعية تقبل (اليف الأرضة ، اليف النمل ، اليف النحل ، الخ) . إنّ الجمع الاجتماعي يتألف من افراد ينتمون إلى كل مراحل التطور ، وإلى طبقات متمايزة إلى حدٍ ما (الانتحائية الاجتماعية) . إن النشاطات الجماعية ، وخاصة البناءات هي معقدة .

وخصصت البحوث الكثيرة للانتحائية الاجتماعية ولحتميتها ، عند الارضة والنحل والنمل والدبور .

ومن بين الاعمال الحديثة حول النحل ، نذكرَ اكتشاف الروائح الهرمونية ، التي بها تمارس الملكة تأثيرها الذاتي ، والتي تعطل نمو المبيض عند العاملات ، اللواتي يلحسن الهرمون من اغشية الملكة (بوتلر ، پين وباربييه) ، وتقنيات البناء والقدرات على التصحيح والتصليح عند النحل (دارشن Darchen) ، ولغتها (فون فريش ، لندور ، وهيران) . ودرس رينييه Raignier وستامر الحياة الاجتماعية ، عند النحل ، ودرس دولرانس وروبود حياة الدبابير . أما الأرضة ، فقد كانت موضوع دراسات عديدة من قبل پ . پ . غراسي ومدرسته : اعمال حول انتظام الارضات البناءة (قوة العمل) ، وتقطيع المجتمع عند الارضة الافريقية ، الخ . إن ستينر ـ وهو يدرس السلوك الغادر عند احدى غشائيات الاجنحة (كالنحل) وهي « ليريس نيغرا » ، طرادة الجداجد ـ اثبت وجود « معرفة تشريحية غريزية فطرية » ، وهو استنتاج ثبت علمياً ، انضم إلى الملاحظات القديمة التي قام بها فابر Fabre سابقاً والتي كانت موضوع جدال من قبل العديد من علماء الحيوان .

إن هذا العرض السريع يدل على أن علم السلوك قد نهض نهضة ملحوظة ، والنتائج الحاصلة تتيح الحصول على حصاد غني في المستقبل .

* * *

إن التمو المكثف والانجازات في مجال علم الحيوان تترجم بتفرع المجالات العلمية المتنوعة ، التي توشك ربما أن تنسى الوحدة الحيوانية . إن الغاية القصوى من هذا العلم تكمن في دراسة الحيوانات ، واصلها ، وامكاناتها على العيش في الطبيعة .

الفصل الرابع

الوراثة والتطور

I ـ الوراثة

إن الاعمال الرائعة التي قام بها مندل Mendel ، مؤسس علم الوراثة ، يعود تاريخها إلى سنة1865 ، (راجع المجلد الثالث) . ولكن في تلك الحقبة ، مرت هذه الاعمال غير مأبوه بها ، وبقيت كذلك حتى سنة 1900 ، وهي سنة خصبة بشكل خاص حيث قام بها ، كلّ على حدة ، ثلاثة علماء نبات هم : الهولندي هوغو ڤري ، والالماني ك . كورّنس ، والنمساوي أ . ڤون شرماك ، فاكتشفوا من جديد قوانين التهجين النباتي . وبدأت الحقبة عمد عالمان بالحيوان ، الانكليزي و . باتيسون Bateson والفرنسي ل . كوينوه Cuénot إلى تطبيق هذه القوانين على الحيوان . إن مذكرة مندل قد سحبت من النسيان ونشرت وترجمت إلى الفرنسية (آ . شابيلييه ، 1907) وإلى الانكليزية (باتيسون ، 1909) . وسميت قوانين التهجين بقوانين مندل ؛ وسمة الوحدة هي السمة المندلية ، والمندلية كحركة تدل على علم التلاقي . في سنة1906 ابتكر باتيسون كلمة الوراثة « جينتيك » للدلالة على علم الوراثة الجديد الذي نجح في الحال نجاحاً كبيراً . وتمت تجربة قوانين مندل على عدد كبير من النباتات والحيوانات على يد علماء الوراثة الاوليين : كوينوه في فرنسا ، وباتيسون في انكلترا ، ولانغ في سويسرا وكورنس وبور في المانيا ، ونيلسون ـ اهل في السويد ، وكاستل وإيست وشول وت . هـ . مورغان في الولايات المتحدة .

وابتداءً من سنة1910 ارتدى علم الوراثة أو الجنتيك مظهراً جديداً على اثر التجارب التي اجريت على دودة الخل (دروزوفيل) أو ذبابة الخل ، وكانت اداة تجربة موفقة (وود ورث ، وو . أ . كاستل ، 1901) ، وهي اداة اختارها . هـ . مورغان . وبفضلها اكتشف مورغان ومعاونوه وك . بريدج ، وأ . هـ . ستورتيڤانت ، وهـ . ج . مولر ، التمركز الصبغي للجينات وأقاموا علم الوراثة الحديث . وبصورة تدريجية استبدلت ذبابة الخل أو الدروزوفيل بفطر زقي اسمه نوروس ـ پورا ثم باجسام مكروبية متنوعة .

وفي الوقت الحاضر يشكل الجينيتيك علماً معقداً تمكن قسمته إلى ثلاثة فروع أساسية هي :

1 ـ الجينيتيك الشكلي والخلوي الذي ينظر في قوانين انتقال سمات الوراثية ويصف الاواليات الخلوية التي تتحكم بهذا الانتقال .

2 ـ الجينيتيك الفيزيولوجي الذي يبحث في انماط المظاهر الجينية [الجينة هي خلية وراثية] ، ويحلل اثر البيئة على المحصول الذي تنتجه الجينات (وهو ما يسمى الجينيتيك الظاهراتي : فينو جنتيك) .

3 ـ الجينيتيك التطوري الذي يدرس الانتقال والانتقاء في روابطهما مع التغيرات الكمية والنوعية لدى الجماعات .

1 ـ علم الوراثة الشكلي

من المسائل الاولى كانت مسألة العثور على طبيعة وعلى تموضع العوامل التي تحدد السمات الوراثية ، والتي اثبتت بعزلها وفصلها بشكل مستقل . لأحظ كورنس وكانون ، وبصورة خاصة المدرسة الاميركية التي نادى بها أ . ب . ولسون مع و . س . سوتون سنة1902 أن سلوك العوامل المندلية يتوافق مع سلوك الكروموزومات أي الصبغيات . وقليلاً قليلاً توضحت نظرية كروموزومية (صبغية) حول الوراثة ، نظرية تقدم اليوم تفسيراً متماسكاً للوقائع . وقبل المباشرة في انجازات هذه النظرية ، سنعالج مسألتين ملحقتين هما : مسألة الوراثة وارتباطها بالصبغية الجنسية أو الكروموزوم الجنسي ، ومسألة ظاهرات التوابط أو الاتصال .

الوراثة وارتباطها بالصبغية الجنسية ـ دلَّ العديد من الملاحظات أن توزيع الجنس مرتبط بتوزيع بعض الكروموزومات عند التنصّف ، أو انقسام النواة إلى نصفين . ومنذ 1891 ، لاحظ هنكنغ Henking أثناء عملية توليد المني في حشرة ذبابية (نصفية الجناح) ، وجود صبغية خاصة دل عليها X ، وهي لا توجد إلا في النصف من المنويات . هذه الصبغية X عثر عليها لدى الحشرات المختلفة ، وربط مك كلونغ في سنة1901 بين وجودها أو عدمها وبين تحديد الجنس . وقد درس الدور الحقيقي للصبغية X من قبل ولسون وتلميذته مس ستيفنس وموريل (1905-1908) .

في سنة1909 حاول مورغان عبثاً أن يحدث اصطناعياً ، تحولات في ذبابة الخل دروزوفيل أي تغييراً احيائياً . ورصد في مزروعاته تغيراً بالصبغية الجنسية . وبين مورغان أن عمى الالوان في النوع البشري يعزى إلى جينة مختلفة منفصلة تتموضع على الصبغية .

إن الصبغيات المتنافرة ، والوراثة المرتبطة بالصبغية قد اثارت العديد من البحوث . وتتبع مولسو سنة1912 ، على الحي ، عند حشرة خيطية اسمها « انسيراكنتوس » ، توزع هذه الصبغيات المتنافرة . ولاحظ موهر سنة1914 توزيعات للصبغيات X لدى مستقيمات الاجنحة .

وفي نمط أول تكون الانثى وحيدة الغامت ويكون الذكر خلافي الغامت ، فيمتلك صبغية X بدون قرين ، أو يمتلك صبغية X مع قرين أصغر اسمه Y . والذكر X Y ربما يكون شائعاً لدى الثدييات (بينتر Painter ,1922 -1930 ؛ مينوشي ، أوهتا ، ماتي ، أوكوما ، ماكينو ، دي وينيوتر) . وفي نمط آخر يمتلك الذكر الموحد الغاميت زوجاً من الكروموزومات الجنسية المتماثلة يرمز إليه بحرفي ZZ ، والانثى عندها غامت واحدة Z ، أو زوجاً متفارقاً WZ . هذا الترتيب لوحظ

في التوتياء البحرية وفي الفراشات وعند الطيور والزواحف .

ونقل العديد من السمات يعود إلى الوراثة المرتبطة بالصبغية الجنسية كما تدلّ عليه التلاقيات المتنوعة الحاصلة في ذبابة الخل (كوينوه ، مورغان ، الخ) ، وعند الفراشات (دونكاستر) ، وعند الدجاج (غودال ، هاجيدورن ، الخ) ، وعند البط والحمام .

الترابط أو الاشتراك في السمة ـ إن وقائع الترابط تبدو كاستثناءات على قانون مندل الثاني أو قانون الافتراق المستقل . في بعض الالتقاءات تعود إلى الظهور اشتراكات في السمات المرصودة لدى الجدود ، وذلك بشكل أكثر تكراراً من اندماجها مجدداً .

ومن حالات الترابط الاولى ، ما رصد في الفوم ذي الرائحة (و . باتيسون ور . ك . بونت Punnett ، 1906) . ويقاس زخم الترابط بين الجينيتين ، بنسبة الغامت التي اندمجت من جديد ، أو بالنسبة المئوية لاعادة الاندماج ، وقد اوضح ك . مازر (1938-1951) تقنيات القياس . وبحث مورغان وستورتيفانت في معنى النسب المئوية المختلفة ، نسب إعادة الاندماج المميزة .

وقد اتاحت آلاف التلاقيات تحديد موضع الجينات . ففي ذبابة الخل تتجمع الجينات المعروفة ضمن أربع مجموعات لا يوجد بينها أي ترابط . وتفسير النتائج الحاصلة على أثر الترابط بين أكثر من جينتين من نفس المجموعة دلَّ على أنه يمكن ، بعد تجميع مثل هذه التجارب ، اعادة تكوين الترتيب الخطي للجينات . والنسبة المئوية للاندماجات الجديدة ، مرهونة بالمسافة الخطية الموجودة بين جينتين . وقد امكن تحديد هذه المسافة ، وبالتالي امكن وضع خارطة صبغية (دروزوفيل ميلانو غاستر : مورغان ، ك . ب . بريدج وأ . ش . ستورتيفانت ؛ الذرة : ايمرسون ، ج . و . بيدل ، فرازر) . وهناك اجزاء من خرائط قد وضعت للعديد من الانواع الحيوانية والنباتية . وبدأ وضع خارطات للانسان ، خاصة بالنسبة إلى الكروموزومات أو الصبغيات الجنسية (ج . ب . س . هالدان) .

إن ظاهرات الترابط عامة جداً ، وقد وضعت موضع الاثبات في الذرة وفي العديد من النباتات ، وفي الارنب والفأرة والجرذ الخ . هنالك تمثيل أو تصوير شكلي اكثر كمالاً لهذه الوقائع قدّم حديثاً (اوين Owen ، 1950) .

النظرية الصبغية (الكروموزومية) في الوراثة ـ هذه الفرضية الاساسية كانت نهاية المطاف لنظريات « القسيمة الصغرى » أو التنصيف (ي . ديلاج) التي حاولت ، منذ موبرتويس وبوفون في القرن الثامن عشر ، إن تفسر السمات الوراثية ، بالنقل إلى الولد جزئيات ميكروسكوبية بواسطة الخلايا البرعمية . وهذه النظرية ، التي شارك فيها العديد من البيولوجيين ، الذين يذكر في طليعتهم ت . هـ . مورغان ومدرسته ، تؤكد أن الجينات تحملها الكروموزومات أو الصبغيات حيث تحتل امكنة محددة اسمها « لوسي » أي الموطن ، وهي مصفوفة خطياً على طول الصبغية .

ومنذ سنة1909 حاول العالم الخلوي البلجيكي ف . أ . جانسنس Janssens ان يكتشف

بواسطة المجهر التفاعليات الوسيطة في عملية الوراثة . وانطلق من ملاحظة وضعت حول الخلايا الجنسية لدى السمندر ، فاقترح نظرية التصالب النمطي : أي تبادل القطعات المتقارنة بين الصبغيات الابوية والامومية اثناء عملية التنصّف أو الانقسام النصفي . وفي سنة1911 عاد مورغان إلى هذه الفكرة واقام حولها نظرية شهيرة هي نظرية التهجين « Crossing- Over » أو التعابر، وفي سنة 1916 بين بريدج أن التعابر يتم في مرحلة ذات خيوط أربعة . وفي سنة 1931 قدمت أعمال هـ . ب . كريفتون Creighton وب . مك كلينتوك Mc Clintock حول الذرة تأكيداً جديداً وباهراً لأساس هذه الظاهرة .

البراهين حول التموضع الصبغي ـ أن النظرية الصبغية تمتلك قوة كبيرة تفسيرية وبراهين عديدة تؤكد صحتها .

وهناك برهان أول يكمن في التماثل بين عدد الكروموزومات أو الصبغيات الفردي ، وعدد مجموعات الترابط . والتطابق الصحيح هو في أغلب الأحيان طويل على التحقيق . من ذلك في الذرة حيث العدد الفردي للصبغيات يبلغ عشرة ، والمجموع العاشر من الترابط لم يكتشف إلا سنة 1935 من قبل اميرسون Emerson . وهناك برهان آخر تقدمه العلاقات القائمة بين الصبغيات الجنسية ووقائع الوراثة التي ارتبطت بها . وقد دلت كل الأرصاد أن الجنس القائم على اختلاف الغامت وراثياً هو مختلف الغامت أيضاً من ناحية النسيج النووي . وصحة تفسير الوراثة المرتبطة بالصبغية الجنسية قد تقررت بموجب تحقيقات ملموسة تناولت النواة . وهناك خروج على القاعدة نادر وهناك حالات فاتتها الأوالية ، أتاحت تحقيقات ثابتة : عدم تفارق مع الصبغيات X (بريدج ، 1916) ، سلسلة ذات صبغتين X مرتبطتين (م . ل . ف . مورغان ، 1922, 1938) . وهناك برهان ثالث يبرز عند مقارنة الشذوذات الوراثية ، والعوارض النووية في ترتيب وفي سلوك الصبغيات غير الصبغيات الجنسية : استثناءات في عدد الصبغيات رقم 4 عند ذبابة الخل (دروزوفيل) .

البراهين على الترتيب الخطي للجينات فوق الصبغيات ـ قدمت هذه البراهين دراسة تقلبات الصبغيات ، وبصورة خاصة تغيرات اماكنها وتراجعاتها . إن اكتشاف الصبغيات العملاقة في نوى الغدة اللعابية في ذبابة الخل من قبل بريدج وت . بينتر سنة1933 قد اتاح رصد البنية الحقيقية القابلة للتراكم فوق البنية الافتراضية المقررة سنداً للنتائج الوراثية (وهذه النوى العملاقة قد لوحظت منذ سنة1881 من قبل بالبياني) . ودراسة الصبغيات وبنية ومعنى الصبغ الموحد والصبغ المختلف قد حصلت (شولتز، كاسبرسون ، دارلينغتون) . وعدد وترتيب الطيات فوق كل صبغية ثابتان ، وقد وضعت خرائط للنسيج النووي مفصلة داخل الصبغيات وتضمنت أكثر من خمسة آلاف رزمة مرقمة (صبغيات لعابية في ذبابة الخل ، بريدج وبريهم 1944) . إن « مواضع » لوسي الجينات ذات 400 تحرك ، قد توضحت ، وكل شذوذ في تكوين الصبغيات يترجم شذوذات محددة ، ومعروفة المواضع بدقة داخل الصبغيات العملاقة .

نظرية التهجين ـ إن واقعة التهجين لا يمكن أن توضع موضع شك . لكن عمليتها لم تكن موضحة . وحول هذه المسألة ذات المظاهر الرياضية المعقدة نوعاً ما (ونشتين weinstein ، ماذر

Mather) ، كتب لودويغ كتاباً أساسياً . إن بعض العوامل تغير في عدد التهجينات ومنها عمر الانثى ، درجة الحرارة ، أشعة X ، الزيغان الصبغي . إن نظرية التقاطع النمطي التي وضعها جانسنس (1909 ,1924) ، والتي حسنها بلنغ Belling ودارلنغتون Darlington (1931 -1933) هي المعتمدة عموماً اليوم : إنّ التهجين يتم أثناء المرحلة الاستباقية من الانقسام الاول ، عندما تكون الصبغيات على اتصال بنقطة تقاطع (Chiasmas) .

إن الملاحظات الوراثية التي جرت على الفطر من نوع الزقيات تدل على أنه في كل تهجين تتلقى صبغية من أصل أربع ، اعادة دمج ، ويظهر التقاطع وكأنه المظهر النووي النسيجي في تهجين تحاول نظريتان ، نظرية دارلنغتون (1935) ونظرية وايت (1942) أن تفسّرا أواليته .

2 ـ الوراثة الفيزيولوجية

هذا الفرع من الفيزيولوجيات يبحث في كيفية قيام الجينات بتحقيق السمات الوراثية (فيزيولوجيا الجينة) ، وأثر المكان على شكل الجينة فيما يسمى بالظاهرة الوراثية .

مختلف أنماط الجينات ـ في سنة1903 -1906 بيَّن كوينوه أن سمات تلون الفأرة تتطابق مع حالات عدة تتخذها نفس الجينة ؛ وهذه الحالات المتولدة بفعل التحول هي « مدغوشات » متعددة (كوينوه ، 1928 ؛ غرونبرغ ، 1943) .

إن المضادات (المدغوشات) المتعددة التي تنظم السمات المتنوعة ، قد تثبتت فعلاً : زوال لون العين عند ذبابة الخل (موزغان ، بريدج ، شولتز) ، التلون بلون الازرق الليلكي لزهرة الكتان ، تعدد السفادات اليرقية في حشرة « بومبيكس موري » (أوغورا) ، جينات التناقض لدى النباتات العليا (ليويس ، 1949 ؛ غانيو ، Gagneu ؛ 1950) الخ . إن كل موضع « لوكوس » في صبغة ما يمكن أن يحتله أحد المضادات « المدغوشات » من نفس السلسلة .

إن السمة الظاهراتية النموذجية تنتج في أغلب الأحيان من التأثير المتبادل بين عدة جينات (مورّثات) . والجينات المكملة ، ذات الطبيعة المختلفة ، تشكل مركّباً من عدد متغير من الجينات وجودها ضروري . ونلاحظ وجود جينات رئيسية ، وجينات شرطية ، وجينات مغيِّرة ، وجينات زخم ، وجينات توزيع .

وبين الجينات الشرطية ، تعتبر الجينة C ضرورية لكل تلوين في ثوب الثدييات ؛ وإذا استبدلت C بجينة أصغر c ، فإن الحيوان يصبح امهق (أي لا لون له) ، مهما كانت جيناته التلوينية . وهكذا يخفي المهاق (أو البهاق) صيغاً جينية نموذجية متنوعة ؛ وقد تثبت كوينوه من هذه الظاهرة وسميت « كريبتو ميري» من قبل تشرماك .

وتمارس جينات نظيرة ، ذات طبيعة مختلفة نفس العمل ، ومفاعليها تندمج وفقاً لمناهج الجبر . هذه الجينات ـ المسماة « المتعددة الأمهات أو الأصل » (پوليمير) (لانغ) ، ومتماثلة الأصل (پلات Plate) ، الخ ـ تتحكم بالعديد من السمات الكمية التي تبدو بنسب مختلفة عند المهجنات .

إن الجينـات المتعددات المفعـول تتحكم بمظاهـر خارجيـة متعـددة . وقـد سبق ورصـدهـا مندل ، وقد شوهدت في الفاصوليـا (جوهـانسن) ، والشوفـان ، وعند ذبـابة الخـل ، والفيزون ، الخ . وفي حالة تعدد المفاعيل ، كثيراً ما تحـدد الجينة مفعـولاً رئيسياً ، والاستثنـاء المنطلق يثير سلسلة من الظاهرات الثانوية والثالثية .

وأول حالة من حالات الموت اكتشفها كوينوه سنة1911 .

فقد عرف المربون منذ زمن بعيد أن الفئران الصفراء تشكل عرقاً لا يلين ؛ والفرضيـة ، التي صاغها كوينوه ، ومفادها أن الفئران الصفراء متماثلة العوامل الوراثيـة غير قـابلة للمعيشة ، تـأكدت بفضل مراقبات كيركهام . فالجينات في حالة « تماثل العوامل الوراثية » تتغايـر مع الحيـاة ، ولكنها في حالة التغاير تولد جينات مميتة مسيطرة . إن الجينات المميتة المنتحية المتراجعة والتي لا تظهر في حالة التغاير ، كثيرة الحدوث .

الزخم والخصوصية ـ تظهر بعض الجينات دائمـاً ، في حين أن أخرى تبـدو غير ثـابتة ، في تواتر ظهورها وفي درجة تحققها . أشار تيموفييف ـ ريسّـوفسكي (1925) بكلمة تعمق أو نفـاذ إلى تـواتر ظهـور جينة وبكلمـة « تعبيريـة » أو وضوح إلى درجـة تحققها . وقـد حُدِّدت أيضـاً خصوصيـة الجينة ، التي تترجَمْ بحقل الظهـور وباسلوب تـوسع للسمـة . إن الجينات المتنـوعة المغيِّـرة التي تشكل الوسط الوراثي « الجيني النمطي » (تيموفييف) تؤثر في النفاذ وفي الوضـوح في الجينات . إن هذا التأثير المتبادل يتيح للجينات المتنوعة أن تشارك في نفس تفاعلية النمو .

علم الوراثة الظاهرية أو دراسة التأثيرات الشكلية لمادة الـوراثة ـ يـدرس هذا العلم بشكـل منهجي تأثير الوسط والمكان (الوسط الخارجي والوسط الداخلي ، والجينات الاخرى ، أو الوسط الجيني النمطي ، والهرمونات) على تحقق السمات .

فالرطوبة ، ودرجة الحرارة ، والمواد الكيميائية تحدث أثراً في ظهور العـديد من الجينـات ؛ مثـلاً الكولشيسين (غبـريل) ، والانسـولين (لاندويـر) يغيران إلى حـدٍ ما تكـاثر زمـع الاصابـع [زيادتها] في الدجاج بحسب حقبة التطبيق . يرى غولدشميت أن بين الجينات والـظاهرة النمـطية الوراثية تتدخل سلسلة من التفاعلات يمكن تغيير سرعاتها بواسطة العوامل الخارجيـة .

هنـاك مثل ملفت للنـظر في مجال التفـاعل بين الجينـات والوسط تُقـدمه النسـخ الـظاهـريـة (Phénocopies) [أي ذات التغيـر الوراثي] ، إن بـإخضاع الاجسـام الحيـة ذات النمط الـوراثي الطبيعي السوي لتأثير الصدمات الفيزيائية أو لتأثير بعض المواد ، يتم الحصـول على افراد يحملون شـذوذات هي من دلائل بعض الجينـات (غولـدشميـدت) 1935 ؛ لانـدُورْ Landauer ، هـادورن Hadorn) .

إن التأثير المتبادل للجينات ، أو تـأثير المكـان النمطي الـوراثي ، يظهـر في سلوك الجينات المدغوشة وغير المدغوشة .

مفهوم الغلبة أو السيطرة ـ إن تقدم علم الوراثة (جينيتيك) قد بيّن أن مفهوم الغلبة المطلقة (أول قانون من قوانين مندل) ليس عاماً . في أغلب الاحيان تظهر بشكل غير كامل جينة مسيطرة ، بشكل مختلف الاقتران . وتمثل المهجنات عندئذ نمطاً وسيطاً . إن الغلبة والتراجع لا يمكن أن يعتبرا كصفات ضمنية كامنة في الجينات فهما قد ينطلقان بفعل عدة عوامل : السن ، درجة الحرارة ، الهورمونات الجنسية . ولا تلعب التغييرات دوراً في بنية الجينات بل في التفاعلات التي تطلقها (تجربة بيدل وكرونرادت على النوروسبورا) .

ووضعت نظريات مختلفة حول الغلبة . ولا تقدم النظرية القديمة التي وضعها باتيسون ومس سوندرس Miss Saundres (1902) حول « الحضور ـ الغياب » (الصفة الايجابية المسيطرة تتوافق مع وجود جزئية خاصة ، والصفة السلبية التقهقرية تتوافق مع غيابها) ، إلا فائدة تاريخية ؛ إن سلاسل المدغوشات المتعددة ، والتنقلات المرتدة قد قضت عليها . في سنة1917 ، صاغ ر . ب . غولدشميت نظرية فيزيولوجية حول السيطرة : إن هذه تتنوع بتنوع السرعات النسبية التي ترتديها التفاعلات المحددة لجينات ذات قوة مختلفة . وهي وان لم تحلّ كل المسائل ، فإن هذه الفرضية تبدو مرضية نوعاً ما من الزاوية الفيزيولوجية . هناك نظريات أخرى تعالج السيطرة في علاقاتها مع تطور الاجسام . في نظر ستانفوس (1910) ، تعتبر السمات الغالبة هي الاقدام عرقياً . وفي نظر دافنپورت (1906) تمثل السمات الغالبة أعلى درجة من التطور . ويرى رايت (1929 -1934) وهالدان (1930 -1932) أثر الانتقاء على المدغوشات في الجينة . وفي نظر فيشر (1928 -1932) ، تطورت السيطرة بصورة تدريجية ، نتيجة انتقاء جينات مغيِّرة تنزع إلى إحلال التماثل بين مختلف الاقتران والجنيس . وهذه الاخيرة تعبر عن سمة جديدة تكون غالبة .

مفعول الموقع ـ يتعلق نشاط الجينة ليس فقط بقوتها ، وبوجود الجينات المغيِّرة ، وبالوسط الوراثي النمطي ، بل وأيضاً بموقعه داخل الصبغية . إن اثر الموقع قد أوضحته أرصاد ستورتفانت (1925)، ثم ارصاد دوبزانسكي ، ودوبين ، ومولر الذي بينوا أن جينتين لا تحدثان نفس الاثر ، بحسب ما إذا كانتا ضمن صبغيتين أو ضمن صبغية واحدة . وبخريطة الهندسة (الترتيب) الصبغية ، تحدث أشعة X نفس المفاعيل .

عمل الجينات ـ إن تحليل تحقيق النمط الظاهري قد كشف عن التفاعليات الفيزيولوجية أو الكيميائية التي تتحكم بظهورا سمة ما . لقد بيِّن مويس ومدرستهُ أنَّ بعض الجينات ، داخل الخزار الأخضر المسمى « شلاميدوموناس » ، تؤثر بواسطة انزيمات خصوصية تسهل عمليات التفاعل البيوكيميائي ، فتتدخل جينات متنوعة في المراحل المتتالية ضمن سلسلة التفاعلات .

إن بعض الافعال المتشابهة قد ثبتت من قبل بيدل ، عند فطور « النور وسپورا » . وعندما تتم سلسلة التفاعلات ، بشكل طبيعي ، فإن المنتوجات الوسيطة تصعب على التبين ، ولكن عندما يخرق تحول ما السلسلة ، فإن المنتوج الوسيط يتراكم ويمكن عندئذ تميزه (هورورويتز) . إن المراحل المتتالية في تركيب الميتيونين ، والايزولوشين ـ ڤالين ، والپورين والپيريميدين ، قد توضحت ؛ إن تكاثر الانزيمات الضرورية يقتضي عدداً مرتفعاً من الجينات .

وتعمل الجينات في بعض الاحيان بواسطة مواد خصوصية مشابهة نوعاً ما للهرمونات (بيدل Beadle وأفروسّي ، 1935) . وهناك أعمال أخرى للجينات أصبحت معروفة أيضاً ، خاصة في التطور ، وهي ظاهرة ناشطة يلعب فيها التركيب الجيني دوراً أساسياً إلى جانب عنصر الزمن . إن بعض الخصوصيات البنيوية قد تحُددت بفعل أعمال فيزيائية أو كيميائية (تلون الفرو عند أرانب الهملايا ، كوفمانّ ، 1925 ، عدد أوجه عين ذبابة الخل ، شوفي Chevais) .

الوراثة عند الاجسام الميكروسكوبية - إن هذا العلم ، الحديث جداً ، قد حقق تقدماً ضخماً بخلال السنوات العشرين الاخيرة . إن الاجسام المجهرية ، تشكل مادة ذات قيمة بسبب سهولة الزراعة ، واقتصار الدورة المولِّدة ، والتغير الزاخم ، والحالة فردية المنطش التي تبسط التحليل الوراثي . إن اكتشاف التنقلات أو التحولات الموجهة ، ثم اثبات الاختلاط الوراثي من جديد بين ارومتين من « اشيريشياكولي » (أ . ل . تاتوم ، وج . ليدربرغ ، 1946) ، يدلّان على نهضة علم الوراثة البكتيري .

إن إثبات دور آ . د . ن (A. D. N) في التحولات البكتيرية ، قد حفز دراسة الحوامض النووية . واقترح واطسون وكريك (1953) نموذجاً لبنية آ . د . ن . اصبح كلاسيكياً . اكتشف زندر وليدربرغ (1952) أسلوباً خاصاً في التبادل الوراثي يحمل بواسطة بكتيريوفاج جزءاً صبغياً من المضيف لينقله إلى بكتيريا أخرى . هذه الظاهرة قد رصدت لدى العديد من الأجسام المجهرية .

إن تأثير الجينات على طبيعة وعلى كمية الانزيمات المولِّدة من قبل الاجسام الميكروسكوبية ، كان موضوع دراسات تجريبية (جاكوب ، برّين ، سانشز ، مونود ، 1960 ؛ الخ) .

إن التزاوج ، لدى ارومة اشيرشيا كولي ، قد اتاح تمييز انماط « معطية » مولدة للجينات « ومتلقية » للجينات ؛ والمولدات التي تقدم فقط المادة الوراثية تعتبر كذكور ؛ وتعتبر المتلقيات التي تساهم في نُسيجها النووي ، وبواسطة مادتها الوراثية في تشكيل اللاقحة ، اناثاً .

ويمتلك نمط البكتيريا المعطية (F^+) وH fr (كافالي ، في ايطاليا ، ليدربرغ في الولايات المتحدة ، وهايس في بريطانيا) العنصر الانثوي F ؛ في (F^+) ، يكون العنصر الانثوي F خارج الصبغية ، أما في (Hfr) ، فهو مثبت في الطرف الأقصى من الصبغيةَ البكتيرية . ونجح ولمان وجاكوب في بناء معادل خارطة وراثية للصبغية . إن العنصر الانثوي F ينظر إليه كجسم سطحي ، أي كجزء وراثي قادر على الوجود بآنٍ معاً في النسيج النووي وفي الصبغية (ف . جاكوب وأ . ل . وولمان ، 1958) .

إن علم الوراثة عند ملتهمات الجراثيم هو في أوج ازدهاره . واسلوب التلوث ، وتطور الأكّال قد حقّلا (هرشي وشاز) . واعطت بكتيريا ملوثة تباعاً بنمطين من الأكّال المتنقل ، سلالة مؤلفة من انماط ابوية ومن 0,1 إلى40 %من الأكّالات المدموجة من جديد . إن تولّد الانحلال الذي وصفه أولاً بورديه وشياكا (1921) كان موضوع أعمال حديثة . وبحسب أثرها على

الصبغيات عند المضيف ، تنقسم الأكّالات إلى ثلاث مجموعات (لووفّ) .

إن علم الوراثة الميكروبي يساهم مساهمة مزدوجة بالكيمياء الطبية : تحليل الحساسية ضد المضادات الحيوية ، وبالتالي مقاومتها لهذه المضادات الحيوية بالذات ، ودراسة الاوالية البيوكيمياتية لاثر المبيدات البكتيرية .

الوراثة غير الصبغية ـ من المقرر أن الجينات تعمل بالتعاون مع البلاسما النواتية . إن الهجائن المتبادلة ، المنبثقة عن التلاقي بين الأنواع الفرعية ، وبين الأنواع والأصناف تظهر فروقات تكبر كلما كان الآباء ابعد في سلم التصنيف ؛ انها تشبه أكثر النمط الامومي (الميل الامومي) . هذا التفارق يوحي بفرق في تكوين البلاسما النووية التي تقدمها الاناث .

وتعتبر بعض الاعمال حول الهجائن المتبادلة المختلفة كلاسيكية : كاعمال ف . فون وتستين حول الخزار (1924 -1928) ، واعمال ميكايليس ، وغولد شميدت ، وكوهن ، وج . كوزان . إن وراثة السرطان ، عند الفئران (موراي وليتل ، 1935) تدل على أثر العوامل ، غير الصبغية وذات طبيعة غير مؤكدة : بلاسما نووية ، انتقال مواد اثناء الحمل أو الرضاعة (بيتنر ، Bittner ، 1939) . إنّ الفروقات النووية لا تظهر حقاً إلا في التلاقيات بين الانواع : وعندها يوجد تناقض (لا تلاؤم) بين البلاسما النووية وبين الجينات .

يفترض بعض المؤلفين ، في البلاسما النووية ، وجود عناصر مماثلة لجينات النواة ، هي الجينات البلاسمية ، المزودة بتناسل ذاتي والقادرة على الانتقال ذاتياً . وهناك فرضيتان أخريان : فرضية التوازنات في الدفق (مونو Monod ، وكوهن) ، وفرضية البذرة (جرم) أو المُطْلِقات ، عُرِضتا أيضاً . إلا أن أي تأويل عام لا يعطي تفسيراً مرضياً عن الوقائع الوراثية غير الصبغية .

نظراً لندرة هذه الوقائع ، فإن بعض الحالات المعروفة قد أصبحت كلاسيكية (باراميسين أو المستطيلة « القاتلة » ، سونيبورن ؛ دروزوفيل : « ذبابة الخل » حساسة تجاه الأنيدريك كاربونيك ، ليريتيه L'Héritier ، 1957 ؛ النقص الكلوروفيلي ، عند النباتات الخضراء ، ميكايليس ، 1954-1958 والاوغلين [حيوان من خلية واحدة ، مائي] ، ديكن ـ غرينسون ، 1960 ؛ القضاء على النمو في النباتات العليا ، ميكايليس ، ادواردسون ؛ الناقلات للعدوى عند الفطور الدنيا (ريزت ، 1952 ؛ كورزن ، 1961) ؛ نقص التنفس في الخميرة ، افروسي ، سلونيمسكي ، يوتسوياناجي ؛ « وراثة بلاسمية نووية » ملحوظة بخلال المراحل السوطية ، في السالمونيل ، ليدربرغ ، 1956) .

3 ـ الوراثية التطورية

إن الجهاز الصبغي قادر على التغير الفجائي ، الوراثي الخالص ، الذي يسمى التحول ، والذي يترجم بتغيرات شكلية ، وتشريحية وفيزيولوجية . ونفرق بين التحولات الجينية التي تتناول تركيب معينة والتحولات الصبغية التي تتناول إمّا ترتيب وبنية الصبغية وإما عدد الصبغيات .

التحولات الجينية ـ إن الامثلة العديدة حول التحولات الجينية ، الفجائية ، في مختلف

انواع اللافقريات والفقريات ولدى النباتات ، قد احصيت في العديد من المؤلفات . إن حسابات شتادلر تدل على أن معدل تحول جينات الذرة ضعيف ؛ والمعدل الجاري السائد في الدروزوفيل هو من عيار واحد على مليون .

إن دراسة ظاهرة بمثل هذه الندرة صعبة للغاية ، ويحاول التجريبيون أن يتخلقوا اصطناعياً التحولات . وكانت التحولات التجريبية المسجلة ضمن ظروف مراقبة جيدة قد تمت على يد هـ . ج . مولر سنة 1927 ، بأثر أشعة X على ذبابة الخل دروزوفيل .

إن معدل التحولات المستحدثة ، الذي حدده تيموفيف ـ رسوفسكي وباترسون ، قد بدا حتى 150 مرة أكثر ارتفاعاً مما هو في الصفوف المتخذة كمعايير . إن كل الاشعاعات المؤيِّنة ، تتمتع بمثل هذه الخاصية ، ومفاعليها قد توضحت نوعياً وكمياً . إن غالبية التحولات الاشعاعية تبدو مهلكة ؛ وبعضها قابل للمعيشة ، ويشبه التحولات الفجائية . إن النتائج التي توصل إليها مولر قد توسعت بسرعة فشملت انواعاً أخرى حيوانية ونباتية . إن انفجار القنبلة الذرية في جزر بكيني سنة 1947 أثار في حبوب الذرة تحولات جينية في حدود 50% .

إن بعض المستحضرات الكيميائية تمارس أثراً ناقلاً . في سنة1949 بيَّن أورباخ Auerbach وروبسون الاثر القوي الذي يحدثه غاز الموتارد (ايپيريت) ؛ والسولفاميد (شيفس وتوماس) ، والسولفون ، والاوبثان والديتيلبوسترول ، والفينول (هادورن ، تيغلي) هي عوامل ناقلة ناشطة ، الخ .

التحولات الصبغية ـ بينت المدرسة الاميركية حول الدروزوفيل ، إن التغييرات البنيوية الناتجة عن انشقاقات داخل صبغية واحدة تولد انعكاسات أو ارتدادات ، وتولد تخلفاً ، أو ازدواجاً أو انتقالات بسيطة ؛ والانشقاقات التي تصيب صبغيتين غير متجانستين تحدث تغييراً في الاماكن متبادلاً .

إن التغيرات العددية في الصبغيات هي اما ذوبان واما تشقق في الصبغية ، أو في اليوليپلودي (تعدّد الصبغة) ، پوليسومي ، وفي الهاپلودي . ولتفسير هذه الذبذبات في الاعداد الديپلودية داخل الصبغيات حول معدل وسط ، بين روبرتسون ، منذ سنة 1926 ، أهمية ظاهرات الذوبان .

ومنذ 1937 أصبح بالامكان استحداث تحولات بوليپلودية ، عن طريق التجريب .

عالج بلاكيسلي وافيري الجذور والبراعم بواسطة محلول الكولشيسين الذي يفكك التقسيم الخلوي ويؤدي إلى تشكل خلايا بعدد مزدوج من الصبغيات ؛ وإذا كانت الانسجة الجرمينية مصابة ، فإن الشذوذ يكون وراثياً ، ويتولد عنه ترابلوييد . وقد استغل سيمونت هذا التعدد في الصبغيات المتولدة تجريبياً ، والذي يحدث أنواعاً ضخمة ويولد هجائن ذات انواع مستقرة وخصبة . وهناك مواد أخرى تحدث أيضاً التكاثر في الصبغيات مثل : (فينيل ـ لوريثان ، باراديكلور بانزين ، الكافور ، انتيبرين ، حامض اندول ـ استيك . . .) .

هذه المستحضرات الكيميائية المتنوعة قلما تكون ناشطة في الحيوانات . إن تغيرات درجة

الحرارة تبدو أكثر فعالية . وبرودة البيضة في مختلف انواع البرمائيات : مثل الضفدع (ج . روستاند) ، والتريتون (فانك هوسر وغريفيث ، وفيشبرغ وهامفري) ، تحدث ظهور افراد ثلاثيي الصبغات (تريبلوييد) ؛ وتحمية البيضة تحدث نفس المفاعيل (فانك هوسر وواطسون ، 1942) . واستطاع بريغس أن يحدث ضفادع اميركية تربلودية . وحصل بنكوس ووادينغتون ، وتيبولت على بيضات متعددة الصبغيات في الأرنب ، ولكن التطوير لم يصل إلى نهايته . فقد حصل بيتي وفيشبرغ (1949) على أجنة ثلاثية الصبغات في الفئران ، عاشت تقريباً نصف مدة الحمل .

وتعدد الصومات (بوليسومي) يتميز بإضافة عدة صبغيات اضافية إلى العدد الديبلودي أي الثنائي الصبغيات . لاحظ بلاكيسلي سنة1915 أول ناقل بوليسومي عند « الداتورا سترا مونيوم » . ووصف فيما بعد عدداً من التحولات البوليسومية متأتية من تضعيف الصبغية الكاملة ، كما اكتشف ثنائيات وثلاثيات تريسومية . والسومية المتعددة كثيرة الحصول في مختلف النباتات ولكنها نادرة عند الحيوانات (الدروزوفيل ، الخ) .

وقد أمكن استحداث تحولات موجهة في بعض الاجسام الوحيدة الخلية : إن السمات المولدة للمضادات أو الأنزيمية في عرق A ، من مكروب ما يتكاثر عند اتصاله بجثث من عرق B من ذات المكروب ، تتغير وتكتسب سمات العرق الثاني (بنوموكوك : غريفيث ، 1926 ؛ وحالات أخرى ، ويل Weil وبوافين Boivin) .

وبالنسبة إلى بيدل Beadle تمثل التحولات الموجهة « اكبر تجديد في العصر ، في مادة الوراثة » . والعنصر الحاث على التحول هو الـ A D N ، الذي يحدث اثراً خصوصياً (افيري Avery ، ملك ليود Mac Leod ، وملك كارتي Mac Carty 1944) . وبين هوتشكيس Hotchkiss سنة1954 إن الخلايا لا تتحول إلا خلال مرحلة من النمو . ومعدل التحول هو 1/1000 ، في حين أن المقاومة ضد الستربتوميسين ، الذي يولّده الـ A D N ، يبلغ معدلها 3% . وتوحي التجارب المختلفة أن المعلومات العامة موجودة فقط في قسم من الجزيء (لا تارجت ، افروسي ـ تايلور ، ريبيروت) . وحتى هذا الحين لم تحصل التحولات الشهيرة الموجهة ، في الفقريات . والنتائج المرصودة بخلال التجارب التي قام بها بنوا Benoit ، وليروا Leroy ، وفاندريلي Vendrely ، سنة 1961 حول البط ، هل تتلاءم حقاً مع مثل هذا التحول ؟ في الوقت الحاضر لا شيء يسمح بتأكيد ذلك .

القيمة التطورية للتحوّلات ـ الكثير من التحولات الجينية هي امراضية أو مميتة ، وتزول بموت الأجسام التي أصيبت بها . والتحولات تبقى تتناول سمات ذات أهمية ثانوية ، وهي في أغلب الأحيان في منشأ اعراق من الحيوانات الأليفة ومن النباتات المغروسة : أعراق جغرافية ، أنواع فرعية (سومنر) وحتّى أنواع بالذات . إنّ التحولات الصبغية تساهم أيضاً في ولادة أشكال جديدة .

وقد تناولت البحوث بشكل خاص ذبابة الخل لما فيها من صبغيات ضخمة تسهل عملية الرصد (ستورتفانت ، دوبزانسكي ، وايت ، الخ) . وقد احتيج إلى خمسين بل وإلى مئة انشقاق صبغي ، للحصول على تفريق ثلاثة أنواع من الدروزوفيل : هي ميراندا ، بسودو ـ اوسكورا ،

برسيميليس ، انطلاقاً من مخزون مشترك .

وأدت تغييرات في الاماكن بين الصبغيات III و II ، من دروزوفيلا ميلانوغاستر إلى توليد متحول هو دروزوفيلا ارتيفيسياليس ، قام به غولدشميدت ، وهذا المتحول هو شكل متارجح ومستقر ، وعقيم إذا اجتمع بالميلانوغاستر العادي . إن تغييرات المكان ، الكثيرة الحدوث لدى النباتات (اينوتير ، داتورا ، ذرة) هي في أساس الانواع الجديدة .

لقد ولدت البوليبلودية وخاصة التترابلودية أنواعاً جديدة هي : بريمو لاكوانزيس (كوتس) ، ديجيتاليس مرتونانسيس (بوكستون ، دارلينغتون) ، الملفوف ـ الفجل (كاربنشنكو) اجيلوتريكوم (تشرمالك) ، ايريس (السوسن) (سيمونت) ، التبغ (كلوزن وغودسبيد) ، كريبس ارتيفيسيالس (بابكوك . . .) لقد استطاع المجرب أن يحقق توليد انواع جيدة طبيعية : تبغ مزروع (بريجر) ، غالوبسيس تتراهت (مونتزيغ) ، فليول اميركا (غريغور وسانسوم) .

إن المشتق الجديد الذي ظهر يجب أن يستمر وأن يتكاثر . وهناك عاملان جديدان يتدخلان عندئذ : الانتقاء وعدد الجماعات . والمشتق الجديد عند ظهوره يمكن القضاء عليه . فإن لم يتم القضاء عليه تشكلت عدة لاقحات متنوعة وعندها يأخذ الانتقاء يلعب دوره إما مباشرة وإما بعد ولادة اللاقحات المتشابهة ، بحسب ما إذا كان التحول مسيطراً أو تقهقرياً .

ولدراسة هذه التفاعلات قام علماء بالوراثة مختلفون (امثال : ليرتيه ، وتيسيه ، رايت ودوبزانسكي ، وكالموس ، الخ .) بادخال مشتق جديد معين ضمن مجتمع مصطنع من الدروزوفيل ، في المختبر ، وذلك من أجل تحديد القيمة الانتقائية لنمط مخلق ، بالنسبة إلى نمط آخر . وحدد فيشر وهالدان ، ورايت هذه القيمة بانها العلاقة بين احتمالات العيش بعد الجيل التالي . وبتنويع شروط التنشئة ، يمكن تحديد مفاعيل المنافسة ، ودرجة الحرارة والرطوبة الخ . وقد تم تحقيق تجارب مماثلة على المركبة المسماة تراكساكوم اوفيستيالي في لينينغراد .

إن الجماعات الطبيعية تتمتع بثلاثة امكانات ؛ بحسب ما إذا كان المشتق أدنى أو مساوياً أو ارفع من النموذج الطبيعي ، فهو لا يتعايش مع هذا النموذج أو يعيش إلى جانبه أو يحل محله .

ومنحنى التغير في الجماعة هو مجموع منحنيات كل نمط عرقي يؤلف هذه الجماعة ؛ واستمراريته المصطنعة تخفي وجود انماط عرقية متقطّعة ؛ ودراسة المتوسّطات تتيح معرفة منحنيات التغيّر لدى مختلف الأنماط العرقية . وقد درس فيشر ، وهالدان ، ورايت ، وماليكوت ، بصورة كمية ، الدور النظري للعوامل التطورية : انتقال ، انتقاء ثم عدد الجماعة .

إن مفعول الانتقاء ، السريع بالنسبة إلى الجينة ذات التواتر المتوسط ، هو أبطأ بالنسبة إلى التواترات الجينية الصغيرة والكبيرة . إن البحوث حول البنيات الوراثية في الجماعات الطبيعية الحيوانية أو النباتية ، دقيقة للغاية . والنتائج الحاصلة ، لدى لاموت (1951) مع جماعة « سيبايا نيموراليس » تعترف بدور اساسي للتحولات في حالات الشكلانية المتعددة ، وفي حالات توازن المستعمرات .

ويبدو مفعول التحول أكثر أهمية من مفعول الانتقاء في حين أن الفكرة المعاكسة تبدو أعم قبولاً .

4 ـ الوراثة البشرية

وفي النهاية ننظر إلى المكتسبات الرئيسية في مجال الوراثة البشرية التي كان من طلائعها غالتون ، وبيرسون وغارود . فالانسان يمثل مادة سيئة من أجل الدراسة (عدد مرتفع من الصبغيات ، انعدام الصبغيات المملاقة ، ثم استحالة التجريب ، وتوجيه التلاقيات). ولكن قوانين مندل ذات مدلول عام ، والوقائع المفرزة لدى الحيوانات تتيح فهم الظاهرات البشرية ؛ إن الشروط الامراضية في الحيوان وفي الانسان هي في أغلب الاحيان متجاورة تماماً ؛ لقد درس غرونبرغ Grünberg بالتفصيل الامراض الوراثية في القواضم واستنتج منها ملاحظات ثمينة بالنسبة إلى الجنس البشري . ومنذ البحوث التي قام بها ت . بنتر (1923) أصبح من المقبول بان الانسان يمتلك 48 صبغية (46 صبغية مستقلة وصبغيتان جنسيتان) . في سنة1956 تعرف تجيو Tjio وليفان ، بفضل تقنية حديثة على 46 صبغية فقط (44 صبغية مستقلة وصبغيتين جنسيتين) ؛ وبعد دراسات طويلة ، تبين أن هذا العدد صحيح .

وبحسب الضخامة وبحسب مكان « السينتوكور » ، فإن كل صبغية تأخذ رقماً من 1 إلى 22 . والصبغيات ذات المظهر الخارجي المتشابه تنتمي إلى نفس المجموعة . ثم تصف بعدها زوجين زوجين وفقاً لترتيب الترقيم ، فتشكل الصبغيات النموذج المحتمل بالنسبة إلى الفرد الذي تظهر عليه الشذوذات النوعية والكمية بسهولة .

وبعض البحوث حول الوراثة البشرية تبدو أكثر حداثة بشكل خاص [1] . إنّ التقدّم الحاصل في دراسة الدم : شكلانية الكريات وخصائص مختلف أنواع الهموغلوبين ، هو في أساس الأعمال المخصّصة لمختلف أشكال النزف الدموي (ماك فرلان ، سوليه ، برنارد ، الخ .) ، وبعض أنواع فقر الدم drépanocytanémie (نيل ، بولنغ ، ستانو ، ويلز ، بيسيس) ، وفقر الدم المتوسطي الصغير والكبير ، ثم شذوذ بلغر ـ هويت Huet . إن فئات الدم الكلاسيكية ، ونظام ريزوس ، وفئات الدم النادرة كانت موضوع تحليلات عميقة ، نظراً لما لها من أثر في الطب وفي الاستطباب وفي الطب الشرعي ، وفي مجال الاناسة (انتروبولوجي) .

إن الاخطاء الخلقية الولادية ، داخل ايض مختلف المواد تبرز سلاسل التفاعلات في الجينات ، وحتمية عدة شذوذات أو أمراض وراثية مثل الامراض البولية على أنواعها (ألاكابتونوريا، والتيروسينوزيا ، والاضطرابات في الغدة النخاسية ، والبيلة السيتينية ، والاضطراب الايضي في الغلوكوجين . . .) .

---

(1) راجع أيضاً الفقرة I ، الفصل II ، القسم الخامس .

إن أمـراض الصبغيات البشرية ، أو الامـراض الصبغية ، وهي مـظهر حـديث من مظاهـر الوراثة البشرية ، ذات ابعاد عريضة .

في سنة1959 اثبت توربين ، لوجون وغوتيه ، وجـود صبغية اضـافية لـدى الأفراد المصـابين بالمنغولية ، وهي مرض وصف منـذ سنة1866 ، ولكن مسلكـه كان مـا يزال **غامضاً** . فـالمنغوليـون يمتلكون سبعاً وأربعين صبغياً ، (بـدلاً من ستة وأربعين) والصبغية الاضافية هي صبغيـة مستقلة ، وإذا هناك ثلاثية في الصومات Soma ناتجـة عن عدم تـوافق بين صبغيتين متجانستين ، في واحـدةٍ من « غاميت » أحد الابوين . ومنذ ذلـك الحين ، أشير إلى امثلة اخـرى من امثلة التركيب الصبغي الضال ، فيما يتعلق اما بالصومات المستقلة أو بالصبغيات الجنسيـة (اعراض كلينيفلتـر ، وميزتهـا وجود صبغية X اضافية ، جاكوبس وسترونغ ، 1959 ؛ اعـراض تورنـر وميزتهـا عدم وجـود صبغية X) . إن أخـطاء العمل ، في تـوزيع الصبغيـات القـربـاويـة ، هي المسؤولـة إذاً عن العجـز أو عن التخلف .

وتـأثير المكـان الامومي على تـطور المضغة لـه أهمية كبيـرة . إن بعض الامراض الـوبـائيـة الامـومية تبـدو مخيفة بشكـل خاص : مثـل الحميـراء (فـوكس ، بـورتين ، 1946) ، التسمم في البلاسما (توسكا بلاسموز) ، ابو كعب ، الخ .

واستعمال بعض الادوية له في بعض الاحيان انعكاسات مأساويـة . من ذلك الثـاليدوميـد ، وهو مثل حديث مؤلم للغاية (1962) . إنّ اوالية هذه الصدمات غير الوراثية (عرضية ظاهراتية) ما تزال مجهولة .

وتتيـح المقارنـة الدقيقـة بين التوائم الـوصول إلى تمييـز بين مـا يعـود إلى التكـوين الخلقي الـوراثي ، وما يعـود إلى الوسط : وتقـدم المقارنـة حـلاً للمسـألـة التي مـا تـزال قيـد البحث حـول « الطبيعة » والتنشئة اللتين قال بهما المؤلفون الانغلوسكسون . ومنذ أواخر القرن التاسع عشـر باشـر غالتون بحوثاً منهجية حول التوائم . ووضـع سيمنس (1924) العنـاصر الأولى لهـذه الطريقـة ، وقامت استقصاءات واسعة تتناول العديـد من ازواج التوائم الحقيقيين والممـوهين ، في العديـد من البلدان (نيومان ، فون فرشور ، جيدا) . إنّ الولادات المتكاثرة قد حللت بكثير من الدقة . والحالة الشهيرة حالة التوائم الخمسة ، توائم ديوني ، قد تسببت بالكثير من الكتابات (ملك ارثـور Mc Arthur وفورد Ford) .

وأخيـراً وفي الـوقت القـريب اثيـرت مسـألـة التحـولات المستحـدثـة عنـد الانسـان بفعـل الاشعاعات . إن احتمال ظهور تحول عند الفأرة ، هو أكبر بعشر مرات عما هو عند ذبـابة الخـل . فما هو سلوك الانسان ؟

نشـر نيل Neel المـلاحظات حـول أولاد « القنبلة الذريـة » الذيـن ولدوا في اليـابان من ابـاء وامهات ملوثين باشعاع . إن الاسراف في التعويض للفحوص الاشعاعية وللاستشفاء بالاشعاع يزيد بشكـل ضخم من مقاديـر الاشعاعـات ؛ وقد كـانت الاحصـاءات المقـررة (تـوربين ، لـوجـون ، وريثور ، وتاناكا ، واوهكورا) ذات دلالة .

وقد خصصت محاضر المؤتمرات الدولية المختلفة لهذا الموضوع المهم (المؤتمر الدولي للاستعمال السلمي للطاقة الذرية ، جنيف، 1958؛ اللجنة العلمية التابعة للامم المتحدة حول آثار الاشعاع الذري ، نيويورك 1958 ؛ المجلس البريطاني والمنظمة العالمية للصحة ، 1959) .

إن تراكم مخلفات الانشطار النووي في الخزار البحري وفي النباتات البحرية وفي الاسماك المهاجرة ذو خطر حقيقي . فالاسماك المهاجرة قد تنقل إلى مسافات بعيدة العناصر المشعة المتجمعة في اجسادها . وبواسطة العديد من الوسائل تنتقل هذه العناصر إلى الجسم البشري .

هذا الخوف من المستقبل حمل العلماء على وضع معايير مقبولة معبر عنها بقياس الآثار البيولوجية المسمى رام Rem (وهو اختصار لكلمات Röntgen-Equivalent-Man) . إن مئتي رام تمثل الكمية القصوى بالنسبة إلى الحياة البشرية : خمسين على الاكثر حتى سن التناسل وخمسين بخلال العقود الثلاثة التالية .

II ـ التطور

يرتدي كل بحث في التطور مظهرين : دراسة واقعة التطور بالذات ، ودراسة النظريات التفسيرية للتطور .

واقعة التطور : براهينها وانماطها ـ يفترض التطور استمرارية العالم الحي ، واشتقاق الاشكال الحيوانية والنباتية بعضها من بعض بواسطة البنوّة . وقامت براهين متنوعة في الربع الاخير من القرن التاسع عشر . وظهرت براهين جديدة مع تطور البحوث خاصة بفضل علم الاحاثة ، وعلم الكيمياء الحيوية .

وبفضل ساعة النشاط الاشعاعي أصبح من الممكن التقدير التقريبي لعمر الارض ولعمر الصخور التي تؤلف الارض (راجع دراسة ر . فورون الفصل III القسم الثالث) . إن وجود الكربون المشع في كل الكائنات الحية يشكل « آلة لقياس الزمن الماضي » . والنظائر المستقرة من الكربون (كربون 12 وكربون 13) تتيح اكتشاف الطبيعة العضوية والمعدنية ، لبقايا من البقايا المتحجرات .

وفي المركبات العضوية والنباتية والحيوانية تشكل النسبة $\frac{^{12}C}{^{13}C}$ ما يعادل 90,1 إلى 92,5 بالمئة في حين أن في المركبات الركازية (بما فيها الاصداف) هذه النسبة تتراوح بين 88,7 و 89,5 بالمئة . وهكذا نجح رمكانا في اثبات الطبيعة العضوية لمتحجرة من الشيست البدائية الاثارية في فنلندا يعود تاريخها إلى 1150 مليون سنة (فالنسبة كانت تتراوح من 90,2 إلى 92 بالمئة مما قطع كل جدال) .

وقدم اكتشاف مهاد جديد من المتحجرات نماذج وعينات ثمينة لحيوانات فقرية دنيا كما كشف عن وجود أشكال وسيطة كانت حتى ذلك الحين مجهولة[1] . ووجود سمات مختلطة ، في هذه

---

(1) راجع حول هذا الموضوع الفقرة III ، الفصل القادم .

الأشكال الوسيطة ، بين قشرات مختلفة ، لا يعزى إلى مطابقة بل يدل على تسلسل في هذه القشرات . ونفس الملاحظات بالنسبة إلى النباتات المتحجرة(1) .

هناك سلاسل متتابعة من المتحجرات في رسوبيات سميكة قد لوحظت في مجموعات متنوعة ؛ ومثل ذلك السلسلة الجميلة لتوتياء بحرية من نوع « ميكراستر » ، درسها أ . و . راو Rowe ، في مختلف مستويات شير طبشوري ارتفاعه 150 متراً (مارغات ، انكلترا) . إن هذه المتحجرات قد تطورت ببطء وهي تقدم برهاناً ملموساً على التطور .

إن الاحاثة العصبية ، التي ترتكز « على دراسة قوالب داخل الجمجمة تقدم بدورها نتائج ثمينة حول تطور علم الشكل الخارجي للدماغ لدى الفقريات .

إن البراهين التي قدمها علم الأجنّة ليست أقلّ برهنة . إنّ استمرارية المراحل السلفية تتيح توضيح الموقع المنهجي للمجموعات التي يصعب تحديد هويتها .

إن الريزوسيفال ، وقد غيرتها الطفيلية بعمق ، تعرف من خلال مراحلها اليرقية . والطفيلية التي تغير بعمق مراحل البلوغ لا تمارس أثراً على المراحل اليرقية . والتشابه الجنيني ليس تشابهاً عرضياً ، إن جنينية الأمفيوكسوس (بروكوردي) هي من نفس نمط جنينية الفقريات .

والتقدم الواسع في علم الكيمياء الاحيائية يؤكد على التآلفات التي توحي بها مجالات علمية أخرى خاصة التشريح المقارن .

في سنة1914 ذكر كوتشر وجود الكرياتين في عضلات الفقريات ، ووجود الارجينين في عضلات اللافقريات . وفي سنة1932 اوضح د . وج . نيدهام أن الأمفيوكسوس يحتوي على الكرياتين مثل الفقريات في حين أن الاسيديات تحتوي على الارجنين مثل اللافقريات . وفي سنة 1944 اثبت م . فلوركين تشخيصاً حقيقياً كيميائياً للفقريات ؛ فوصف توالدات مستقيمة كيميائية احيائية ؛ ومن أسفل إلى أعلى التراتب الحيواني تزيد أو تنقص المعايير من مختلف المواد (بروتينات ، سكريات . . .) . إن عملية الهدم في الخلايا الحية ، داخل البولة ، تدل على تطور في السلسلة الحيوانية يترافق مع خسارات متتالية في مختلف الانزيمات التي تتراتب وفقاً « لتوالد مستقيم احيائي كيميائي تقهقري » ، لا انفكاك منه . إن تقنية التلاصق تدل على التآلفات الحقيقية ؛ وهكذا بين نوتال الروابط القربوية بين الليمول والعنكبيات التي تختلف شكلانيتها اختلافاً كبيراً . وقد أوضحت البحوث الكيميائية الاحيائية العديد من أوجه القربى بين الحيوانات والنباتات .

ولاحظ علماء متخصصون في الوحيدات الخلية وفي الميكروبات وجود تطور فيزيولوجي ، عممه أ . لووف سنة1943 .

هذا التطور قد تميز بخسارات متتالية في الوظيفة أو في القدرة على التراجع . إنّ الاجسام الاكثر بدائية هي مستعدة لتحقيق تركيب في مكوناتها الكيميائية (أي انها قادرة على خلق

(1) راجع الفقرة I ، الفصل VIII من هذا القسم .

مكوناتها) ؛ ثم وبصورة تدريجية تزول قدرة التخلق . إن نظرية فقدان الوظائف ربما تصلح في تطور الطفيليات .

هذه المجموعة الواسعة من البراهين تثبت واقعة التطور الذي يقدم وحده فهماً للعالم العضوي . وأيضاً ان رافضي التطور ، سواء رفضوه مرة واحدة أو قبلوا بتطور جزئي ، كانوا وما زالوا قليلين نادرين (ل . فياليتون ؛ ب . لوموان ، ل . بونور) . لا يوجد أية تجربة ولا أية مراقبة تتعارض مع المبدأ التطوري .

وقد جرى البحث في توضيح أنماط التطوّر ؛ واقترحت بعض القواعد : قانون التعقيد المتزايد ، قانون كوب (القابل بأنّ الأشكال القديمة جداً هي أشكال تركيبية) ، قانون التتابع ، قانون التزايد الجسدي ، قانون دولو أو قانون اللارجعة في التطور التقهقري . هذه القوانين لا ترتدي صفة الدقة الرياضية ، وقد أشير إلى وجود استثناءات . إلا أن دراسات السلاسل التطورية الموجهة (التوالد المستقيم) قد أصبحت كلاسيكية .

نذكر التوالد المستقيم في الاكيديات وفي التيتانوذير (اوسبورن) ، وفي الجمليات ، وفي الخرطوميات (اوسبورن) . وتبقى أوالية التوالد المستقيم تقريباً مجهولة . إن اقتراح هوكسلي الرامي إلى تفسير يتناسب مع النمو الالومتري ليس مرضياً . في الواقع أن تحقيق نمط منسجم ومتخصص يقتضي تنسيقاً بين معاملات النمو ؛ هذه التنسيقات المتنوعة تواجه صعوبة رئيسية .

وقد جرت محاولة بتقدير سرعة التطور . وقدرها اوسبورن بعشرين مليون سنة ، وهو الوقت الضروري لتكون الضرس الطاحنة الثالثة في الماستودون تريلو فودونت ، أي تشكل ثلاثين نتوءاً . واقترح هالدان سنة1949 وحدة تطور سماها « داروين » ولكنها غير شائعة .

إن البحوث الاحاثية في العقود الاخيرة قد ساهمت بشكل واسع في معرفة أفضل للفقريات المتحجرة القديمة . إن الشعب أو العروق بما فيها الكورديات (ج . بروف ، 1958) كانت غير معروفة في عصر ما قبل الكمبريان (شنديولف ، 1956) وهي موجودة بعد عصر الكمبريان . إن الفقريات الأولى المعروفة ، وكذلك كل اللافقريات الأولى ، ليست أشكالاً بدائية .

النظريات التفسيرية للتطور ـ هناك نظريتان كبيرتان تفسران التطور : اللاماركية نسبة إلى لامارك الفرنسي والداروينية . ويعود تاريخهما إلى القرن التاسع عشر . ورغم الانتقادات الجدية التي تثار حول اللاماركية الجديدة ، فقد عرفت هذه في مطلع القرن العشرين نجاحاً حاداً على الاقل في فرنسا حيث قام اتباع جيارد ، أ . پيريا ، بونيه ، لودونتك ، كونستنتان ، وهوسي يدافعون بقوة عنها . ولكن عدم ارثية السمات المكتسبة تتعارض بشكل أكيد مع اللامركية .

زعم پ . كاميرر من ڤينا أنه اثبت وراثية الصفات المكتسبة عند الضفدع المولد سنة1909 . وبعد مناقشات حادة لم يتردد باتيسون سنة1923 في القول بان كاميرر « قد صحح الطبيعة » . وفي سنة 1929 نشر ج . ك . نوبل ، بعد أن استطاع عن طريق الميكروسكوب تفحص الكلاكل الاصابعية المزعومة المكتسبة ، مقالة يفضح فيها الغشّ . وبعد ذلك بأسابيع اعتبر انتحار كاميرر كاعتراف بالإدانة .

ويفسر تبني اللامركية رسمياً من قبل الحكومة السوفياتية ، بعد 1929 ، الدعاية لصالح الميتشورية والليسنكية .

حقق ليسنكو Lyssenko مع مدرسته ، هجائن تطعيمية لكي يبين أن « المواد اللدنة » المنتقلة من حامل المطعوم إلى المطعوم وبالعكس يمكن أن تغير وراثياً المطعوم وحامل المطعوم إلى نموذج وسيط بينهما ؛ من هنا كان تأثير عصارات المطعوم على الخلايا المتبرعمة في حامل المطعوم ، والذي يترجم بنقل سماتٍ شكلية ، ولونية ، إلى احفاد حامل المطعوم ، واذن فقد انتقلت سمات اكتسبها المطعوم منه إلى الغير .

والنتائج الحاصلة المزعومة اثارت الكثير من الانتقادات ؛ حتى أنه جرى الكلام عن « حرب بين القائلين بالوراثة » . وهناك برهان آخر تذرع به اللاماركيون وهو أن بعض السمات البنيوية ، التي ما يزال منشؤها غير مفهوم ، تجد تفسيراً سهلاً في وراثة مفاعيل الاستعمال وعدم الاستعمال (كلاكل الجمل ، والنعامة والهلوف ؛ وانحناء بطن مقرّنات الذنب) . وظهرت اللاماركية من جديد ، مع الفرضية التي دعا اليها ونتريبرت ، لاماركية كيميائية ؛ صيغ هذا المفهوم سنة1949 ، ثم وسعه مؤلفه في أحد كتبه سنة1962 .

إن اوالية التغير الوراثي مأخوذة نقلاً عن التمنيع ؛ فالجينة المعتبرة كمضاد متشبث بالصبغية ، هي ردة فعل دفاعية ضد تأثير بيئة مخربة . « ليست الجينة هي عامل الوراثة ، بل اداة البروتوبلاسما في الوراثة » . وجمع الجينات ، أي الأجوبة التكييفية ، يحدد تطور النوع .

إن هذه النظرية لم تلاق أي اثبات تجريبي . ويبدو من الصعب تصور التطور بكامله كمتتالية من الأجوبة على هجومات محلية .

وفي حوالي آخر القرن التاسع عشر، كانت الدروانينة الأصولية قد تغيرت على يد الداروينيين الغلاة (والاس ووايسمان) الذين قبلوا تفسيرات داروين ، من دون وراثة السمات المكتسبة ، باعتبار الانتقاء هو العامل الوحيد الفعال .

وفي حوالي سنة1900 حققت نظرية جديدة ، هي التحولية ، تغييراً ثانياً في الداروينية ؛ انها نوع من الداروينية المحرومة من وراثة السمات المكتسبة ومن عظيم قدرة الانتقاء الطبيعي .

وارتكزت الانتقالية على مفهوم التغير المتقطع أو مفهوم التحول الذي وضعه هـ . دي فري (حدث فريد ، إن مفهوم التحول القائم على اونوتير مختلفة هو تفسير خاطىء لوقائع صحيحة) . إن اعادة اكتشاف قوانين الوراثة دلت كيف تنتقل التحولات ، وكيف تندمج لتولد المستجدات . إن الحركة التحولية ترفض الوراثة في السمات المكتسبة من قبل الصوما وتقبل بلعبة الانتقاء المحافظة على النمط الوسط .

وهناك فرضية جديدة ، نودي بها منذ سنة1902 من قبل ل . كوينوه ، هي التكيف المسبق ، وتندمج في التحولية ؛ ويمكن أن تعتبر كمظهر خاص من مظاهر الانتقاء . وفي نظر كوينوه ، يتوافق التكيف المسبق مع « سمات غير منحازة ، أو نصف مفيدة تبدو في نوع ما ، ومن شأنها أن تصبح

تكيفات أكيدة ، إذا اعتمد هذا النوع مسكناً جديداً أو اكتسب سلوكات جديدة ، وهو تغير يغدو ممكناً ، بفضل وجود هذه التكيفات المسبقة بالذات » . إن تشوهه (تشوه النوع) ، بمعنى المصير المحتوم مسبقاً ، هو هراء مطلق .

إن الحركة التحويلية تقوم على بعض الوقائع الثابتة ، وتنبيء تقريباً عن التطور البسيط الصغير أي عن التغييرات التطورية في جماعة ما ، وعن تشكل وعن عزلة الانواع الجديدة . ولكن الكثير من الظاهرات تبقى غير مفسرة ، مثل ولادة المجموعات الكبرى ، والتكيفات والتوالدات المستقيمة ، الخ .

بخلال الثلاثين سنة الاولى من القرن العشرين ظهر الكثير من النظريات الصغيرة التي تحاول أن تفسر التطور وكان نجاحها سريع الزوال نوعاً ما ، ولم يبق منها شيء يذكر ومنها : اللاماركية السيكولوجية التي قال بها بسولي (1905) ، ثم انتليسيا دريش ، والمفهوم الجسماني Organismique عند فون برتالانفي (1928) ، ثم هوليسمة سموتس (1916) . والخَلْق Monogenèse عند ل . س . برغ (1922) ، وأولوجنيز د . روزا (1909) ، وآريستوجينز اوسبورن ، وآپوجينز هـ . برزيبرام (1929) . والآلوجينيز عند آ . لآبي (1924) ، الخ .

إن اعمالاً متنوعة ، بديء بها حوالي 1920 ، عالجت الدراسة النظرية والتجريبية حول التطور ، وكانت في أساس نظرية جديدة حول التطور هي النظرية التركيبية أو التوليفية ، والتي مجدت بشكل خاص في البلدان الانكلوسكسونية ؛ ويعتبر الاميركي ج . ج . سمپسون أحد أفضل ممثليها . إن هذه النظرية تتوافق مع نوع من الداروينية الجديدة المعدلة ، ومع تركيبة من الطروحات الداروينية الجديدة ومن التحولية . إن التكيف يشكل العامل الموجه للتطور . إن هذا التوجه التطوري ينتج عن تفاعل بين التركيبة الوراثية التي تنتظم اواليات للتطور وبين الانتقاء الطبيعي الذي يستخدم كدليل . إن التحولات تعطي امكانات ، والانتقاء يحدد الطريق . إن السمة الاساسية في التطور هي المناسبية أو الوصولية : كل ما من شأنه أن يحصل ، يحصل . إن التكيف المسبق يشكل اوالية للنظرية التوليفية أو التركيبية ؛ ولكن الانتقاء يمارس عملاً حاسماً في استخدام البنية التكييفية المسبقة (أي ذات الاستعداد المسبق للتكيف) » إن التكيف المسبق والتكيف اللاحق هما مرحلتان في تفاعلية واحدة حيث يلعب الانتقاء دور الموضب أو المحضِّر » .

إن الانتقاء قد درس بشكل مخصوص ، وكان موضوع تحليلات رياضية حددت الاشتقاق الوراثي (رايت) ، وضغط التحول ، وضغط الانتقاء أو معامل الانتقاء . وحسب فيشر (1930) وس . رايت (1931) ، وهالدان (1932) وقع معامل الانتقاء على التطور ، وفقاً لمعدلات التحول ولأحجام الجماعات . إن الانتقاء المحافظ ، والانتقاء المجدد اللذين بديا متناقضين ، ظهرا كاسلوبين من أساليب العمل متزامنين ، من شأنهما تغيير البنيات الوراثية في جماعة ما . وهكذا يمكن تفسير تشكل الاعراق الجغرافية ، وحتى الانواع الجديدة (ماير ، ج . هوكسلي ، تيسييه) . وعرف باللوين (1902) انتقاء عضوياً أو موازياً ، وهو مفهوم جدده هوفاس (1946)

ولكن النظرية التركيبية لا تقدم ، بالتأكيد ، تفسيراً مرضياً لكل الوقائع المرصودة .

كيف يمكن تفسير التكيف الملازم للتطور ؟ كيف يفسر تخلق او ولادة Coaptation التوافق (كوينوه) والأدوات (كوينوه وتيتري) المتكونة من التصويب المتبادل بين قسمين مستقلين ؟ كيف يفهم تكوّن الاعضاء المعقدة بما فيها الدماغ البشري ، عن طريق التحولات العارضة ؟ إن الاعضاء المعقّدة تقدم عناصر جديدة ، وتناسقات جديدة ، وهيكلية هندسية وتنظيماً مختلفين . إن التحول التطوري ، لكي يكون فعلاً ، يجب أن يُضبط مع التحول السابق ، وان يحدث تماماً في اللحظة المعينة . حتى الاعمال الكبرى البليوتروبية غير مؤهلة لتفسير الترابط والتناسق اللذين يميزان كل جسم حي .

إن عدم ثبوتية النظريات التطورية ، خاصة « النظرية الجامدة جداً والمنبسطة جداً التي قدمها ج . هوكسلي ، دوبزانسكي ، وسمپسون وآخرون غيرهم ، تحت اسم غير ملائم هو اسم النظرية التركيبية أو التوليفية » ، قد عرضها ب . پ . غراسّي . يرى كالين النظرية التركيبية « كفورة تركيبية » . حتى بعض المتمسكين بالنظرية الاميركية (وادينغتون ، اولسون) اشاروا إلى الصعوبات وقدموا اعتراضات .

وككل النظريات السابقة ، تقدم النظرية التركيبية تفسيرات جزئية لبعض النقاط الخاصة ، ولكنها لا تقدم أي تفسير للتطور في كماله .

لقد جرت محاولات تفسيرية وما تزال حول التحولات المنهجية التي قال بها ر . ج . غولد شميدت ، وحول تحولات الكائنات التي قال بها آ . دالك .

إن التحولات المنهجية ، وقد أثارت تغييرات متزامنة في العديد من الجينات ، هي في أساس الانواع الجديدة . اما تحولات الكائنات فهي تغيرات فجائية ، عميقة ، جذرية ودائمة ، تحدث داخل النسيج النووي في البيضة ؛ وهي تتسبب في تلف خطير يصيب اواليات النمو وربما تتحكم في ولادة المجموعات الكبرى ، وفي التطور الواسع .

لقد اقترح بيولوجيون المان نظرية ترتكز على مفهوم النمط ، فقد افترضوا وجود « انماط مجسدة » (Morphotype) أو خطط تنظيم متميزة .

تقدم نظرية هيبرر Heberer (1954) تطوراً يغير بصورة تدريجية نمطاً ما فيحوله إلى نمط آخر باشكال وسيطة . إن التغييرات التي تتناول على التوالي عدة سمات صغيرة تولد أخيراً بنية جديدة ، والتطور يكون عندئذٍ جمعياً . أما نظرية شنديولفّ (1960) فانها تتطور تطوراً مستقلاً متميزاً بتغير فجائي من نمط إلى نمط ؛ إن هذه التقطيعية أي اللاستمرارية تلغي وجود اشكال وسيطة . وتعزى التغيرات إلى مفعول العوامل الداخلية .

وفي الوقت الحاضر ، وبكل موضوعية ، يجب الاعتراف أن مطلق نظرية لا تقدم تفسيراً مرضياً حول الاواليات التطورية . وولادة الوحدات الكبرى التصنيفية ، وكذلك التكيفات تمثل المصاعب الرئيسية التي من العبث اخفاء اهميتها .

الفصل الخامس

التشريح المقارن وعلم الاحاثة عند الفقريات

I ـ التشريح المقارن

دون أن نتجاوز الاحداث ، نستطيع أن نعثر في بحوث التشريح المقارن في الوقت الحاضر ، على التيارين اللذين رأيناهما يرتسمان ، في القرن الماضي ، مع أ . جوفرواسانت ـ هيلير ، وانصار النظريات التفليقية ، من جهة ، ومع ج . كوڤييه وانصار مبدأ الترابطات من جهة اخرى . وكان المشرح الانكليزي غودريش (1868 -1946) من انصار الاتجاه الاول . ومن بين النقاط الأكثر بروزاً في عمله ، نقف عند بحوثه حول التفلق ، وحول التماثل .

لقد اعطى ، حول النظرية الفقارية ، أو بصورة افضل التفلقية في الدماغ ، اراء عميقة جددت المسألة . فقد اوضح مفهوم التماثل . إن اعضاء فردين تكون متماثلة ، لا لكونها تنتمي إلى نفس الشق ، بل إذا امكن ربطها باجزاء تقابلها عند جدٍّ مشترك . وهناك درجات في التماثل ؛ إن تماثل عضوين يكون كاملاً عندما تشتق اجزاؤهما من أقسام متطابقة في جدٍ مشترك .

والعمل الرئيسي عند غودريش هو كتابه المعنون : « دراسات حول بنية ونمو الفقريات » (1930) حيث عالج ، بعقل اصيل وعميق ، المسائل الكبرى حول المورفولوجيا أو علم التشكل . وهذا الكتاب كان ويبقى الدليل الضروري بالنسبة إلى كل باحث يعمل في هذا المجال .

في فرنسا يبدو كتاب لويس ڤياليتون (1868-1930) مختلفاً تماماً . فهو يسجل ، نوعاً ما ، عودة إلى كوڤييه Cuvier .

يرى ڤياليتون أن قانون الترابط مهم في المورفولوجيا أو علم التشكل ؛ فهو يشكل مفتاح التنظيم . والوسيلة الوحيدة لفهم الجسم تقوم على اعتباره كمجموع ترابط اجزاؤه . إن مثل هذه الطريقة هي المتعمدة في كتابه وعنوانه : اطراف واوساط الفقريات رباعيات الارجل . انتقاد مورفولوجي للتغييرية (1923) .

ونذكر أيضاً عدداً من الأعمال التي وإن لم تعالج مسألة كبرى في التشريح المقارن ، فإنها درست جهازاً أو عضواً داخل مجموعة ذات أهمية نوعاً ما في الفقريات : مثل بحوث

الهولنديين فان كمبن Van Kampen حول المنطقة البصرية لدى الثدييات ، اريانس كابرس حول الجهاز العصبي ؛ وبحوث الفرنسيين ج . انطوني (مورفولوجيا خارجية في دماغ القرود البلاتيرينية ، باريس 1947) وبحوث ر . انطوني وأ . دي سانت ـ ماريا حول منهجة مخيخ الثدييات ؛ وبحوث السويسري ج . كالين Kalin حول تشريح التماسيح وحول الثدييات البشرية والقردية ، الخ . إن التشريح المقارن كثيراً ما استعمل تقنيات علم الاجنة وعلم الانسجة . وهناك العديد من الاعمال التي يجب ذكرها . ونحن نأخذ هنا فقط الدراسات المهمة التي قام بها سيرغافين ديبير de Beer حول تطور الجمجمة .

II ـ نهضة الاحاثة فيما خص الفقريات

فرنسا ـ في فرنسا هناك اسمان بارزان تجب الاشارة إليهما في مجال الاحاثة فيما يتعلق بالفقريات وهما : مارسلين بول Boule وشارل ديبريه Depéret .

كان بول (1861 -1941) ، تلميذاً ووارثاً لغودري على كرسي الاحاثة في متحف التاريخ الطبيعي وقد حرص على المحافظة بأمانة شديدة على تراث معلمه . ومساهمته في إحاثة الفقريات تتمثّل بشكل خاص بدراساته حول الثدييات الرباعية . ولكن القسم الأكثر أصالة في عمله يكمن أساساً في بحوثه الاحاثية حول البشر وحول ما قبل التاريخ .

كان شارل ديبيريه (1854 -1920) ، هو أيضاً تلميذاً لغودري ، ولكنه انفصل عنه بسرعة . وقد ناهض التركيبات المبكرة (إيحاء لتراكيب غودري) دون أن يأبه بما فيه الكفاية بالمعطيات الكرونولوجية أي التسلسل التاريخي ، والتي كان من نتائجها اقرار بنوة مصطنعة تجعل من أنواع ليس بينها أي رابط شجري عائلي ، تسلسلاً بنوة وأبوة . وقد ركز على بطء التغيرات التطورية واجتهد في اعادة تكوين الاغصان العرقية النوعية . وابرز واوضح الغموض الحاصل غالباً « بين التطور الحقيقي في مجموعة طبيعية من الحيوانات المتحجرة ، وبين ما ليس هو بالفعل إلا التطور الوظيفي في عضوٍ داخل سلسلة من الانواع التي تنتمي إلى اغصان طبيعية مختلفة ، وليس بينها أي رابط قرابة مباشر» .

ونحن ندين لديبيريه أيضاً باعمال مهمة حول الثدييات الثلاثية في فرنسا ، وبسلسلة من الملاحظات الاصلية حول مسألة الهجرات ، والتزامنات في المهاد الاحاثية عبر العالم .

سويسرا ـ كان هـ . ستيلين (1870 -1941) ، تلميذاً لروتيماير Rutimeyer ، وهو أحد الوجوه الابرز في علم الاحاثة المعاصر . وقد جعل من متحف بال أحد المراكز الرئيسية في العالم فيما يتعلق باحاثة الثدييات . وقام بحفريات في المهاد الرئيسية في اوروبا وقد جمع توثيقاً كاملاً جداً حول تاريخ مفردات الاصابع وحول مفصليات الاصابع وكذلك حول عدد لا بأس به من المجموعات الثديية الاخرى . وكان عنوان كتابه الرئيسي ، الذي نشر بين سنة1903 و 1916 في مذكرات الجمعية الاحاثية السويسرية « الثدييات في الايوسين السويسري ، كتالوغ انتقادي بالمواد » . ولا يتعلق الامر في الواقع بتعداد وصفي بل بمحاولة فيلوجينية ، وهي احدى اوسع المحاولات التي تناولت الثدييات ذات الظفر ودراسة في الزمن وفي الفضاءحول مختلف فروعها .

ان اعادة تكوين الهجرات قادته إلى اجراء مقارنات بين الحيوانات الثالثية في اوروبا وحيوانات اميركا الشمالية ، وبذات الوقت اوضحت السمات التطورية التي اصابت الجمجمة والاسنان . وفي آواخر حياته ركز ستيلين اهتمامه حول الازمنة الرباعية فصدر له كتاب مهم بعنوان « غار كوتنشر محطة موسترية » حرره بمعاونة أ . دوبوا ويتضمن نتائج مهمة بشكل خاص حول تطور الحيوانات وحول التغيرات المناخية التي تميزت بها الحقبة الاخيرة من تاريخ الارض .

المانيا ـ كان علم الاحاثة حول الفقريات في المانيا موضوع دراسات ذات طابع وصفي . نشر ف . فون هوين Huene عدداً كبيراً من المذكرات والملاحظات حول مختلف مجموعات الزحافات ؛ وكان بروالي Broili مؤلف اعمال مفيدة حول الزحافات الطائرة وحول زحافات كارو Karroo ؛ ووصف م . شلوسر Schlosser حيوانات ثديية في اوروبا ومصر .

بلجيكا ـ إن اعمال دولو Dollo (1851- 1931) القت بريقاً حاداً حول إحاثة الفقريات . وتشكل بحوثه حول اسماك العصر الاولي ، ثم اعادة تكوينه للديناصوريات في برنيسار التي تشكل هياكلها العظمية المجموعة الأكثر بهاء في المعهد الملكي في بلجيكا ، ودراساته حو التمساحيات و تشيلونيات المتميزة بأسلوبها المختصر ، المملوءة بعبارات مصقولة ، كل ذلك يشكل مساهمة رئيسية في تاريخ الفقريات الدنيا .

ولكن يوجد في شخص دولو منظّر . إنه واحد من اولئك الذين نادوا بوضوح بقانون اللاعودة في التطور ، والذي يسمى في اغلب الاحيان باسم « قانون دولو » .

يطبق هذا القانون في كل مكان توجد فيه وراثة . ومنذ أن يسجل كائن ما في بنيته اثار كل مرحلة اجتازها ، فمن المستحيل ، بحسب البناء ، العودة تماماً إلى الحالات التي مر بها سابقاً . إن اللاعودة لا تقتضي التولد المستقيم ، أي سلسلة من التحولات تتم بشكل خط مستقيم ، وتجري من الانواع ضمن اتجاه معين . ومن غير المشكوك فيه أنه لولا قانون عدم الارتداد ، لكان علم الإحاثة عاجزاً عن فك الشبكة المعقدة من الاشكال الزائلة .

انكلترا ـ إن التراث الكبير الذي خلفه أمثال أوين Owen وأمثال هوكسلي Huxley استمر في الحقبة المعاصرة في انكلترا . وقد وصف ش . اندروز (1866- 1924) الزواحف الكبيرة في بحار الجورا واعماله حول حيوانات الثدييات المعثور عليها قريباً من القاهرة ، في مهاد الفيوم ، قد أتاحت سد الفراغ جزئياً الذي يفصل اليوم الخرطوميات عن غيرها من مجموعات الثدييات ذات الحافر . نحن نعلم الآن أن ذوات الاظافر من النمط القديم قد غيرت شكل رأسها ؛ وكيف أنها اكتسبت خرطوماً ؛ وكيف غيرت وعقدت اسنانها ؛ لكي تصبح فيلة .

كان آ . سميث ـ ودورد Smith- Woodward (1864 -1944) احد اساتذة الإحاثة السمكية . وكان كتالوغ الاسماك المتحجرة في المتحف البريطاني للتاريخ الطبيعي ، ويبقى مؤلفاً أساسياً .

وعلينا أن نذكر أيضاً اسم د . م . س . واطسون . ولكن تأثيره على حركة الإحاثة العصرية يبقى عميقاً جداً وحياً جداً بحيث اننا سنكتب عن مؤلفه بمعرض الاتجاهات الحاضرة لهذا العلم .

روسيا ـ في روسيا ، بين نشر اعمال كوفاليفسكي والعصر الحاضر الذي يشهد نشاطاً كبيراً ، نحن لن نـذكر الا اسم مـاري بافلوف ، مؤلفـة العديـد من المذكـرات حول الشدييات الثـالثيـة في روسيا . فقد اثبتت الموقع الفيلوجيني الذي يحتله الهباريون وبهذا فقد قدمت مساهمة مهمة لتاريخ إحاثة الخيول .

اميركا ـ يحتل عمل هـ . ف . اوسبـورن (1857 -1935) مكانـة مهمة . نشر اوسبورن كتبـاً حول الاحاثة العامة وتاريخهـا ومناهجهـا . وقد وضـع تصنيفاً للزحـافات المتحجـرة هو في منـطلق مفاهيمنا الحـديثة حـول البنية الفيلوجينيـة لهذا المجمـل الكبير ، مجمـل الفقريـات . وقد وصف العديد من أشكال الزحافات البحرية والزحافات الأرضية من مجمـوعة الـدينوصـور . وعاد إلى بعض افكار (كوب Cope) بعـد أن غيرهـا وأوضحها ، فـاعطى دفعـة نشيطة للدراسات حول الضـراسة واقترح نظرية عامة حول التسنين ؛ وأخيراً كرس لتـاريخ إحـاثة الشـدييات العـديد من المـذكرات ، متابعاً ومتمماً عمل مارش Marsh وكوب .

إن أصل الثدييات ، وانتشارها الاول في العصر الثانوي ، ونموها الكبير في العصر الثالثي ، ووصف مجموعة من الانماط الجديدة لقيت من جانبه وضع عدد كبير من المذكرات بشـأنها . فقـد اعاد تاريـخ إحاثـة الخيول ، ووحيـد القرن والتيتـانيات والخـرطوميـات . وقدم دراسات ذكية حـول مبادىء التطور . وقـد تميّز هـذا التطور عنـده بظاهـرة التغيير بـاتجـاه محـدد ، وسمـاهـا التـوالـد الارستقـراطي . ويميل (اوسبـورن) إلى تفسيـر حيـوي للظاهـرة الحيـويـة الحيـاتيـة . لقـد اهتم (اوسبورن) بمسألة أصول الانسان فشق وركب الاكتشافات التي جرت في العالم القديم .

ويتميز نشاطه بمظهـر مزدوج علمي واجتمـاعي ، أشار إليـه بصورة جيـدة (م . بول) . ولا يمكن في هـذا الشأن اهمـال الدور الـذي لعبه أوسبـورن في تنـظيم متحف التـاريخ الـطبيعي في نيويورك ، وفي عرضه التعليمي ، ولا المشاركة التي قام بها من أجل تشكيل بعثـات كبيرة علميـة من أجل استكشاف ومن أجل التنقيب (في منغوليا مثلاً) .

ومنذ بداية هذا القرن نهضت إحاثة الفقريات في امريكا الشماليـة نهضة مشـرقة . وكـان و . د . ماتيو Matthew بالتأكيد واحداً من علماء الاحاثة الذين كانت لهم المعرفة الأكثر عمقـاً بالثـدييات الثالثية .

وكانت مذكراته العديدة بالنسبة إلى كـل الذين يـدرسون هـذه المجموعـات من الفقريـات ، نماذج حقة للوصف وللتفسير .

في كل بحوثه ربط و . ك . غريغوري علم إحاثة الفقريـات بالتشريح المقارن ؛ وقد عـالج بذهنية مميزة ، العديد من مظاهر مسألة التطور .

III ـ الاتجاهات الحالية في إحاثة الفقريات

التنقيب أو الحفـريـات ـ لا يمكن الا ان نؤخـذ بتـطور البحـوث الحـالي في مجـال إحـاثـة الفقريات . فعدا عن أعمال المختبرات ، استمرت الحفـريات نـاشطة في العـديد من البلدان التي

كانت حتى الآن مهملة نوعا ما . وقد تم الحصول على نتائج جديدة وغير متوقعة من أجل العلم .

وقد ساهم علماء الاحاثة الفرنسيون مساهمة ناشطة في هذه الحركة . ومنذ السنوات الاخيرة ، تتابعت الحفريات المنهجية في حوض (باريس) وفي حوض الأكتين وفي الهضبة الوسطى في فرنسا . وامتدت البحوث نحو مدغشقر ، وأعطت مجموعة من المستندات الجديدة حول الفقريات في الحقبة البرمية ـ الترياسية ، وفي افريقياالوسطى .

وفي انكلترا جاءت اكتشافات رائعة توضح مسألة أصل الثدييات . وفي المانيا ، يجب أن نذكر الحفريات المنهجية التي قام بها هـ . طوبيان في المهاد الثالثية من حوض مايتس .

وتحت تأثير عالم إحاثي نابغة ، م . كروزافون بيرو ، أخذت شبه جزيرة إيبيريا وبصورة خاصة كاتالونيا تصبح أرضاً مختارة لتاريخ الثدييات الثالثية . إن الحفريات التي جرت في انغولا وفي البرتغال قدمت مادة لاعمال مفيدة قام بها ك . تيكسيرا وج . بيزيوسكي .

وفي يوغسلافيا قامت بحوث مهمة في المهاد البونتيه . إن الاحاثيين السوفيات يتابعون الاستكشافات في مهاد نهاية العصر القديم واكتشافاتهم اتاحت الاستمرار والمتابعة لتاريخ الزواحف الثديية . وقد وسعوا بحوثهم حتى منغوليا حيث كانت قد سبقتهم البعثات الاميركية الكبرى (1925-1918) .

وتم الحصول على نتائج مهمة جداً بفضل البعثات النروجية والدانماركية والسويدية إلى جزيرة غريتلند التي أوضحت ، منذ 1920 ، متحجرات توضح مسألة الانتقال من الحياة المائية إلى الحياة الهوائية عند الفقريات . وتبقى اميركا الشمالية الارض المميزة لدراسة الثدييات الثالثية . وفي السنوات الاخيرة بدأت التنقيبات الجارية في مهاد بداية العصر الثالث تعطي أهم النتائج . في اميركا الجنوبية تجب الاشارة إلى البحوث المهمة التي قام بها ج . ج . سمبسون في التشكيلات الثالثية في باتاغونيا .

في افريقيا الجنوبية لم ينفك التشكيل الضخم في كارو (جنوب افريقيا) يقدم عينات عن مجموعة عجيبة من الزحافات تطور بعضها متحولاً إلى ثدييات . وكان أوين أحد الأوائل الذين عرفوا بها ، ولكن أعمال ر . بروم ، بصورة رئيسية ، وأعمال د . م . س . واطسون أيضاً هي التي أتاحت إعادة تكوين الخطوط الكبرى في تاريخها .

النتائج الكبرى ـ إن إحاثة الفقريات ترتبط ، بصورة واضحة تماماً ، بمناهجها وبموضوعها ، وبالمجال المخصص للعلوم البيولوجية ، بعد العثور على الطريق التي شقها المؤسس ج . كوفييه ، والكتاب الجميل الذي وضعه د . م . س . واطسون وعنوانه « الإحاثة والبيولوجيا الحديثة » (1951) ، الغني جداً بالآراء الجيدة وبالرؤى الأصيلة ، هو شهادة حاسمة تدل على هذا التطور . وعلى صعيد العمل في البحث أصبح التوحيد بين احاثة الفقريات والتشريح المقارن أكثر وثوقاً . ولا يمكن تصور إحاثي غير عالم بالتشريح علماً أساسياً . وإنه بشكل خاص في دراسة الفقريات الدنيا ، برز هذا الرابط بأقوى قوته . وتعتبر أعمال أ . ستنسيو ، من

ستوكولهم ، حول الفقريات البدائية وحول صدفيات الجلد ومفصليات العنق ومسطحات المفاصل ، نماذج لإعادة التكون التشريحي ، حيث يستعين الباحث بقوانين التماثل وبمبدأ الترابط ليتوصل إلى اعادة صنع أعضاء أو مجموعة أعضاء ، بواقعية عليا ، كان التحجر قد قضى عليها ؛ مثل ذلك الجهاز الدوراني أو الجهاز العصبي ، الخ .

وتطبق الملاحظات نفسها على أعمال د . م . س . واطسون حول المفصليات ، والبرمائيات والزحافات ، وكذلك أعمال إ . جارفيك حول الكلنتاوات . وبنفس العقلية ووفقاً لنفس المناهج درس أ . س . رومر Romer الزحافات الأولى في اميركا الشمالية ؛ ودرس ب . بايرو أ . كوهين ـ شنيدر زواحف ترياس التسيّن ؛ درس ج . أ . أفريموف البرمائيات والزحافات من العصر القديم في روسيا ، ودرس ج . أ . أورلوف الدينو سيفال ؛ وأ . هـ . كولبيرت الزحافات الديناصورية . وساهمت الإحاثة الفرنسية بمثل هذه الحركة : وكانت مهمةً بشكل خاص أعمال ج . ميبّوه وج . أنطوني حول الكولاكانت ، وبحوث ج . پ . ليهمان حول الفقريات الديڤونية في غرينلند وفقريات ترياس في مدغشقر .

وهناك مجالات كانت تعتقد مستعصية على الإحائي ، أصبحت الآن مستكشفة . إن دراسة المخيخ مثلاً ، سنداً لتفحص الشكل الخارجي للجمجمة أتاح إعادة تكوين ظاهرة التمخخ في خطوطها الكبرى وهكذا تكونً علم جديد هو علم الإحائة العصبي (ت . أدنجر ، 1948 ، ك . دي شازو ، 1962) .

ودفعة واحدة أمكن تجديد المسائل الكبرى في التشريح المقارن وأمكنت معالجتها بشكل جديد : مثل أصل الفكين ، وشروط الهندسة العامة للجمجمة ، وأصل الاطراف ، الخ ، ومثل ذلك من المسائل التي أخذناها نحن بفضل الإحاثة ونجد لها حلاً .

إن نظرية التطور هي بصورة أساسية ، التأكيد على أن الاحياء مرتبطون فيما بينهم تاريخياً . ولا يمكن فهم أي شيء ، بدون محيطه ، وكذلك بدون سابقه . وهكذا يمكن التأكيد ، بعد تفحص الكائن الحي ، إن هذا أو ذاك من المجمل التحضيري لمراحل التطور ، قد سبق ظهوره بالضرورة ، وينتج عن ذلك أن عيّنة وحيدة تنبيء عن تاريخ طويل .

وسوف نرى ، بواسطة تضافر التشريح المقارن والإحاثة كيف تكامل علمٌ جديدٌ ، علمٌ حقيقي للأشكال .

وهناك مثل مأخوذ من الأعمال الحديثة . وقد سبقت الاشارة إليه بإيجاز (ج . پيفيتو ، محاولة أصل وتطوّر البرمائيات اللاذيليات ، حوليات الإحاثة ، 1937) يوضح هذه الافكار . يوجد في الطبيعة الحالية مجموعة من الفقريات ذات السمات الفريدة : اللاذيليات (ضفادع وعلاجم) وبعد تحليل بنيتها في ضوء التشريح المقارن تبين أنّها تنتمي إلى مجموعة من البرمائيات من العصر الأولي ، وتتيح هذه البنية التنبؤ بصورة تقريبية ، بسمات الأشكال الوسيطة ثم تقرير أنها وجدت في بداية العصر الثانوي . وأوضحت بحوث أجريت في أراض من هذه الحقبة في مدغشقر عن وجود متحجرة تستجمع التنبؤات التشريحية المقارنة ، وتشكل إحدى الحلقات البارزة بين البرمائيات

الاقدم واللاذيليات أو البرمائيات الحالية . ومن الممكن الإكثار من مثل هذه الامثلة التي تدل ، حسب تعبير ب . سان سين ، على أن المتحجرات تستجيب لمواعيد الحساب .

وقد سبق كوفييه واعتبر المتحجرات كتجارب طبيعية . ونستطيع القول الآن (إذا عرفنا التجربة بأنها واسطة للتثبّت من فرضية) أن الاحاثة المستندة على التشريح المقارن يمكن أن تعتبر كعلم تجريبي .

والتحليل الدقيق من قبل علماء الإحاثة لمختلف مجموعات الفقريات دل على أنها تتحلل إلى فروع متشعبة ومختلفة هي الاغصان أو العروق . ودراسة العروق ، أي دراسة بنيتها وعلاقاتها وتوزعها في الفضاء البيولوجي تصبح هي أيضاً جزءاً أساسياً من البحث الإحاثي ، ومن وجهة النظر هذه ، إنّ مجموعة الثدييات كانت موضوع بحوث هي الأدق . ويكفي أن نذكر الأعمال الكلاسيكية التي قام بها ج . ج . سمبسون ، والتي تتناول تقريباً كل مجموعات الثدييات ؛ وخاصة أعمال ي . تيلهارد دي شاردان حول آكلات اللحوم ؛ وأعمال س . شوب حول القواضم الخ . وهناك أسماء كثيرة يمكن اضافتها إلى هذا الجدول المختصر . وهكذا يتكوّن عرق استمراراً لعلم الوراثة .

ولأسباب يسهل فهمها كانت مجموعة الرأسيات (فصيلة الانسان والقرود) موضوع بحوث معمقة . ونحن نرى بصورة أفضل الآن الرسم الذي ترسمه تشعباتها . هناك مركزان للبحوث ناشطان بشكل خاص : أحدهما في سويسرا ويعمل فيه ج . هورزلر Hurzeler وج . كالين ، وأعماله قد غيرت ، بما فيها من مقتضيات تخص مسألة أصول البشر ، بعمق معارفنا ؛ والآخر في انكلترا بقيادة سير ولفريد لوغرو كلارك الذي قدم معطيات أساسية حول تطور أشباه الإنسان والإنسان .

بالطبع عندما يتعلق الأمر ، على الصعيد الفلسفي ، بتفسير هذه الأوجه في الحياة ، فإن المعارضات تظهر بين علماء الإحاثة .

وهل يمكن العثور على إتجاه لهذا التطور ؟ هل هناك توالد مستقيم ؟ إن هذا المفهوم لتطور موجه نوعاً ما قد انتقد بحدة من قبل بعض الاحاثيين ، وخاصة ج . ج . سمبسون وهـ . أ . وود الخ . في حين دافع عنه آخرون وخاصة ب . تيلهارد دي شاردان :

كتب هذا الأخير يقول « ماذا يهم ، بعد كل شيء ، إذا كانت شجرة العائلة بالنسبة إلى الخيليات ، بدلاً من أن تظهر ، كما في السابق ، بشكل ثلاثة خطوط فقط ، فإنها اتخذت في اعيننا بنية ضمة من الألياف قصيرة إلى حد ما ، ومتقطعة ؟ منذ الحين الذي تستمر فيه الضُمّة ، ـ فوق الألياف ـ في الوجود ، متمددة إجمالاً من نمط « هيراكوثيريوم إلى نمط إيكوس » ، بعدها يستمر الخلق المستقيم في العمل (سواء سميناه « نزعة » أو انتقاء مستقيماً) » .

عندما نتفحص التاريخ التطوري للجماعات ـ وهذا هو الأمر المسيطر في النهاية ـ لا يكون هناك تشتت بل جدولة للأشكال .

إن الإحائيين قلما عالجوا مسألة الغائيات التطورية ، وهي مسألة تطرح بشكل مستقل عن الإحائة . وقد أشار ج . ج . سمبسون ، مع كثيرين آخرين ، إلى أن نظرية التطور لا تكون صالحة إلا إذا استوعبت نتائج الإحائة . وفي كتابه المسمى « وقت ونموذج في التطور » حاول سمبسون اجراء هذا الدمج أو التركيب لنتائج علم الوراثة مع نتائج علم المتحجرات ومهما كانت ميزاته فإن مثل هذا الجهد لن يلاقي التأييد الإجماعي . فقد عاد إلى توسيع النتائج ، نتائج التطور الافرادي ، التطور عند مستوى النوع ليشمّل تطور كل الانواع أي ليشمل مسار تاريخ الحياة كله . واضطراب بعض الإحائيين في مواجهة مثل هذه التركيبات يعود إلى الصعوبات التالية التي حللها تماماً ف . ماير في كتابه « اشكالية التطور » فقد بدا لهم صعباً افتراض ما يلي : « أن ما يبدو ، من جهة ما ، كتتابع محتمل في العلل والأسباب ، يمكن بمقياس آخر ، أن يكتسب معقولية من نوع آخر ». وتدخلت دراسة الظاهرة الإحائية ضمن تراتب في الضخامة مختلف عن تراتب التغيرات الذاتية الخاصة .

وقد يحدث أحياناً للإحائي ـ الذي يتأمل في كل هذه النظريات التي تنطلق من مسألة « أصل الأنواع » والذي يفشل في محاولاته نقلها إلى الصعيد المألوف لديه ـ أن يتساءل ، كما يقول جان پرّين ما إذا كان مطلق مفهوم ينتهي بفقدان معناه عندما نبتعد عن الشروط التي كانت متوفرة عندما تمت صياغته .

الفصل السادس

قبل التاريخ

في القرن العشرين تـوضحت مناهـج ما قبـل التاريـخ وتمت بعد ذلـك متابعـة تطور البشـرية بمختلف اشكاله : جيـولوجيـاً « العقب الجليديـة وما بين الجليـدية ، الـطمي البحري والنهـري ، ترسبات الكهوف ، إلى آخره . . . » ، ثم احاثياً « الإنسان، النبات والحيـوانات المتحجـرة » ، ثم اركيولوجياً « الصناعات البشرية » .

بعد إعادة طبع كتاب « ما قبل التاريخ » ، وكتـاب « متحـف قبل التـاريخ » لـ ج . و . آ . موتيلت ، ظهر كتاب «مختصر الأركيولوجيا قبل التاريخ ، السلتية والغالورومانيـة » لـ ج . ديشيلت Déchelette (مجلد 1 - 1910) ، ثم ظهر في سنـة 1920 كتـاب « الـرجـال المتحجـرون » لمؤلفـه مارسيلين بول Boule ، وهو كتاب رائع أعيد طبعه عدة مرات . وظهرت مـوجزات عـديدة حـول ما قبـل التاريـخ العام ؛ من ذلـك في فرنسـا ظهرت كتب جـان دي مورغـان (1921) ، ثم تبعتها كتب أخرى عديدة مع موسعات اكثر تقنية واطالس .

وبذات الوقت ظهرت مجلات دورية متخصصة تنبّىء عن العديد من الاكتشـافات مثـل مجلة الانتروبولوجيا أو نشـرة الجمعية قبل التاريخية في فرنسا ؛ ثم (احداث مجتمع ما قبـل التاريـخ ، الانسان ، العصور القـديمة) في انكلتـرا ، ثم نشرة الجمعيـة الملكية البلجيكيـة حول الانـاسة أو الانتروبولوجيا وما قبل التاريخ ؛ ثم جرمـانيا ، في المـانيا ؛ ثم انتـروبوس أو الانسـان في النمسـا ؛ ونشرات سميـسونيان أنستيتيوشن في الولايات المتحـدة : وتمتلك بلدان عدة أخـرى الآن مثل هـذه الدوريات .

إن تنظيم المؤتمرات القـومية والـدولية وإنشـاء الاتحاد الـدولي لدراسـة العصر الـرابع ، قـد أتاحـا تبادل الآراء المثمر . وفي ما وراء المناطق الكلاسيكيـة من وادي نهر الســوم والدوردونيـه ، امتـد الاستكشاف إلى كـل القارات ، وخـاصة إلى افـريقيا وآسيـا . وربط علماء مـا قبل التـاريـخ الجيولوجيا بالعلوم الانسانية وبدأوا باستكنان تاريخ الفكر من خلال تطور فن الموبيليا والجـداريات الـذي ظهر منـذ أكثر من عشـرين ألف سنة . وقـد أتاحت النتـائج الحـاصلة للعديـد من الباحثين أن يواجهوا التأويلات الواسعة العلمية والفلسفية .

الظاهرات الجليدية والقريبة من المناطق الجليدية - إن كلية أزمنة ما قبل التاريخ محكومة بظاهرات مناخية أثارت سلسلة من الموجات البردية المأساوية وتسببت بمراحل جليدية وشبه جليدية .

إن القلنسوة الجليدية في اسكندنافية كانت تمتد بعيداً إلى الجنوب ، حتى انكلترا ، والبلدان المنخفضة ، والمانيا ، في حين كانت الجليديات الكبرى الالبية تنزل إلى وادي نهر الرون . وميّز بنك وبروكنر(1909) بين أربع حقب جليدية هي : الغنتسي ، المندلي ، الريسّي والفورمي ، حددت في جبال الألب البافارية والسوابية . وبالتفصيل ، نميز أحد عشر انزلاقاً للتربة ، ولكن تفسير الاحداث بقي دقيقاً . والدراسات الحديثة التي قام بها ف . بوردييه حول التجلد في جبال الألب الفرنسية ، ودراسات آ . كايوه حول الظاهرات حول الجليدية في أوروبا الغربية ، تدل على أن الحقب الجليدية في جبال الألب تتوافق مع حقب جليد اسكنديناقية .

وأسباب الظاهرة الجليدية ما تزال غير معروفة ولكن مفاعيلها قد اكتشفت حول العالم قاطبة ، حتّى في المناطق الاستوائية حيث أحدثت اضطرابات خطيرة في التوزيع الجغرافي للكائنات الحية .

إن الدراسات حول الجليد أدت إلى نشر كتب أكثر فأكثر دقة : « تغير العالم منذ العصر الجليدي » بقلم ر . أ . دالي 1934 ، ثم « الجيولوجيا الجليدية والبليستوسينية » بقلم ر . ف . فلينت (نيويورك 1957) . المجلدان حول « العصر الرابع » بقلم ج , ك . شارلز ورث (لندن 1957) ثم « الحقبة البليستوسينية » بقلم ف . ر . زونر (لندن 1959) .

وتتجه ملاحظات س . ك . رونكورن وغيره (1959-1960) حول المغناطيسية الحجرية إلى اقتراح نقل القطبين عبر العصور الجيولوجية ، ولكن أ . دوفيليه وآخرين (1962) يفضلون الافتراض بأن القشرة الأرضية قد زاحت بشكل كامل . وفي سنة 1961 قدم ر . و . فيربريدج توليفة حجرية مناخية للعصر الرابع .

التسلسل الكرونولوجي - في سنة 1900 قدر ج . دي مورتيلت عمر الزمن الرابع بـ 250 ألف سنة وهو تقدير اعتبر يومئذٍ خيالياً اسطورياً . وبعد ذلك بأربعين سنة قبل م . بول بالرقم 500 ألف سنة ، وهو رقم قريب من رقم 600 ألف سنة الذي اقترحه الفلكي والجغرافي الفيزيائي اليوغوسلافي ، م . ميلانكوفيتش سنة 1920 و1930 و1938 .

وقد استعمل هذا الاخير الطرق الرياضية ، منطلقاً من التغير المحتمل في اشعاعات الشمس سنداً لفرضية بتنقل القطبين ، والتي قال بها كوبن وأ . ويجينر . ومع ذلك فقد بين هـ . كويبر سنة 1943 فساد هذه الحسابات .

واعتمد كتاب آخرون أرقاماً مختلفة : فقال أ . بنك ان عمر الارض يتراوح بين 500 الف ومليون سنة ، وقدره ج . أ . بيلغريم بمليون ونصف سنة . وعاد ر . سبيتالر في براغ سنة 1939 ثم ج . بلانشار في باريس سنة 1942 الى حساب أزمنة العصر الرابع انطلاقاً من معطيات فلكية ، وفسروا بذات الوقت دورية المراحل الجليدية . وعثر ج . بلانشار الذي قبل بفرضية تنقل القطبين

على زيوحات الارض الإحدى عشر التي ذكرها الاباتي بروي Breuil ، وحدد مدة العصر الرابع بما فيه عصر ڤيلا فرانشيان بما يقارب مليون ونصف مليون سنة .

وقدمت توضيحات اكبر حول الآلاف الأخيرة عن طريق اسلوب الرواسب المائية وهو اسلوب ابتكره البارون السويدي ج . دي غير (1858-1943) .

والڤارڤ هي الترسبات السنوية التي تتركها مجاري المياه في قاع البحيرات المجلدة ، في مقدمة الجبال الجليدية . ودرس ج . دي غير هذه الترسبات المصفوفة بعضها فوق بعض وعدد أوراقها في اماكن متنوعة ونجح سنة 1910 في نشر كرونولوجيا مفصلة حول 12 الف سنة سابقة لعصرنا ـ منذ المجدلي وحتى نهاية الحجري القديم الأعلى ـ متابعاً خطوة فخطوة تراجع الجليديات الاسكندنافية . وتتبع ج . دي غير هذه الدراسة الرائعة وصححها وأكملها في سلسلة من الاعمال استمر بها حتى سنة 1940 .

وطبقت نفس الطريقة بنجاح من قبل م . سورامو في فنلندا سنة 1929 ومن قبل أ . انتيفس في اميركا الشمالية سنة 1931 الخ . ولكن تزامن مختلف السلاسل المرصودة لم يثبت الا سنة 1953 بعد تطبيق طريقة الكربون 14 التي أثبتت امتياز طريقة الرواسب المائية .

المصاطب البحرية والنهرية ـ في بداية القرن لاحظ ل . دي لاموث سلسلة من الثنايا متراكمة على طول شواطىء الجزائر وبيّن أنها تتألف من ترسبات بحرية ، ومن شواطىء قديمة ذات حصى ورمال وأصداف متحجرة ؛ وتدل هذه الترسبات التي ما تزال على نفس الارتفاعات على المستويات القديمة للبحار الرابعية .

وفيما بعد وجد ل . لاموث في وادي نهر الإيسر «مصاطب نهرية» يتوافق ارتفاعها مع ارتفاع المصاطب البحرية . ووسع استقصاءه وارتكز على مبدأ تواصل البحار (أي على الواقعة الاكيدة بأن كل المحيطات تتصل فيما بينها ، وان الشاطىء صفر هو على نفس المستوى في كل بلدان العالم) وبين أن مصاطب الموزل والرين والرون كمصاطب الإيسر سببها تموجات بين المحيطات عند مستوى القاعدة . وفي سنة 1911 نشر مذكرة عرض فيها نظريته نهائياً .

وكان ش . دي بيريت الذي ربط بين الجرافات المتراكمة ، وهي شواهد على الجليد الأورميني ، مع مصاطب نهرية ، اجتذبته هذه الفكرة وتصور تركيبة رائعة ترتكز على إتصالية المحيطات وتتبع ، على نفس الشواطىء النسبية ، تتبع المصاطب البحرية أو النهرية والترسبات الجرافية ، والكل مؤرخ بمتحجرات وبصناعات بشرية . وهكذا امكنت الاحاطة بالعصر الرابع ، ضمن تاريخ أربع مصاطب تقع على ارتفاع 15 و 30 و 60 و 100 متر . وتتوافق المستويات البحرية في العصر السيسيلي والميلازيني والموناستيري والتيرّيني ، مع التشكيلات الجليدية في الغنتسي والمندلي والريسي والڤورمي .

ولكن هذه النظرية قد أخطأت في أساسها بفعل نسيان ظاهرة أساسية وهي : استمرارية الحركات الماصة في القشرة الارضية على طول العصر الرابع ، فرفعت بعض الشواطىء وغطست

إلى الأعماق شواطىء أخرى . وكان لا بد من الاقلاع عن هذه الطريقة البسيطة جداً ، من اجل العودة إلى دراسات إحاثية ومورفولوجية (شكلية) دقيقة مثل دراسات ف . كومونت Commont ، والأباتي بروي وف . بوردييه الذين اجروها في وادي نهر السون ، وكذلك الدراسات التي اجراها ج . تريكارت Tricart في وادي نهر السين الأعلى .

الرسوبيات في الكهوف - إن الدراسة الاكثر يقظة لرسوبيات الكهوف ، سطحاً فوق سطح ، لما فيها من حيوانات ومن معدات ، أتاحت الحصول على دقة اكبر فيما يتعلق بالطبقات الأرضية وتسلسلها . وهكذا ارتدى الانسان العالم « هومو سابيانس » السابق على الموستيريان والذي اكتشفته الآنسة هنري - مرتان في كهف فونتشيفاد ، كل أهميته . إن هذه الدراسات على الارض استكملت بفضل تقنيات جديدة أتاحت دراسة معادن الصخور المنقولة مثل الرمال والطمي ، وغبار الاشجار والغابات كما أتاحت تحديد تاريخ بعض المعالم العضوية سنداً للكربون المشع ^{14}C ، الخ .

دراسة النباتات - إن التحليل البوغي للحمر الذي باشره ك . إ . برتران سنة 1899 قد استمر في كل أوروبا . وفي فرنسا أتاحت أعمال ج . دوبوا وج . ليمي ومدام فان كامبو توضيح دراسة تطور المجموعات الحرجية تبعاً لتغيرات المناخ . إن علم « الإحاثة المناخي يقدم خدمات جلّى » .

وقدمت المستودعات الأخرى الرباعية عناصر عن النباتات أتاحت تتبع تطور النباتات تبعاً لتطور المناخ .

وقد تم بصورة خاصة دراسة الهجرات الأفقية والعامودية في بعض المناطق الجبلية (لوران ومارتي ، هـ . غوسن ، الخ) ، وتغيرات النباتات الحرجية في اوروبا تبعاً لانتشار الجليديات (ف . غينييه ، هـ . غامس ، 1949) ، الخ . واعتمدت نفس الطرق في اميركا الشمالية وفي الاتحاد السوفياتي .

دراسة الحيوانات - ان دراسة الحيوانات انطلقت انطلاقة واسعة في القرن التاسع عشر ، وتتابعت بنشاط . وقد لوحظ أنه من بعض المئات من أنواع الثدييات التي عاشت في العصر الرابع انقرض خمسة عشر نوعاً عن سطح الكرة الأرضية (مثل الماسيرودوس والماموث) . أما الأخرى فما زالت تعيش دائماً ، ولكن مساحة توزعها الجغرافي قد تغيّرت . وهناك ثلاثة أنواع مختلفة من الحيوانات عاشت في أوروبا الغربية بخلال العصور الرابعة :

أولاً - حيوانات حارة ، من النمط الأفريقي أو الهندي الأفريقي ، متميزة بالفيل القديم ، ووحيد القرن المركي (نسبة إلى مارك) ثم فرس النهر البرمائي ، وكذلك الأسد والضبع .

ثانياً - حيوانات السهب ، وتتميز بالأنتيلوب سَيْغَا وحصان زويآلسكي ، والهميون ، والمارموت بوباك . وفي منطقة حرجية قليلاً يضاف إليها البيزون والأوروس وفي منطقة أكثر حرارة بقليل هناك الأسد والضبع .

ثالثاً ـ حيوانات باردة مثل أنواع في التايغا والتوندرا وتتميز ببعض الأنواع التي ما تـزال تعيش في الشمـال : مثـل الـرنـة والثـور المسكي ، والثعلب القـطبي والأرنب الأبيض ، ثم بحيـوانين زالا هما : الماموث ووحيد القرن الأصوف .

وقـد ظن العلماء أولاً ان الحيـوانات الحـارة قد عـاشت طويـلاً جداً وانهـا مـاتت بـالبـرد في المرحلة الجليدية الرابعة (مرحلة ڤورم) واستبدلت بالحيوانات الباردة كالرنة والماموث . الواقـع ان هذه الحيوانات لم تستطع تحمل البرد الأقل حدة في الجليديات الأولى ، فهـاجرت نحـو الجنوب ثم عادت نحو الشمال بخلال الجليديات المتقطعة (انترغلاسيير) . ووجود أحـد عشر زيحـاناً لـلأرض يدل على وجود إحـدى عشرة مـرحلة باردة مـوزَّعة بين العصـور الأربعة الجليـدية ويـدل على أن هذه الحيوانات كانت في حركة دائمة إلى أن حلّ البرد الكبير وشمل حتى شـواطىء المتوسط فقضى على كل امكانية لجوء نحو البلاد الحارة . هذا التصور الذي حورب طويـلاً ، ثبت ، خاصـة في فرنسـا ، (وادي نهر الموم ، الأباتي هـ . بروي) ، في هضبـة فاسينكـور (آ . باك ور . ڤـوفري Vaufrey) وفي اسبـانيا (كهف كـاستيلو ، منطقـة سانتـانديـر) ، بفضـل اثبـات تـتابـع وتكـرار الفيـل القـديم والماموث . وفي كهوف جبل الكـرمل (فلسـطين) أمكن استنتاج تـتالي المناخـات من نسب ضآلـة الغـزلان (السـهب الناشفـة) والأيل (ريم) (الأحـراج) . ويدلّ وجـود مـزيـج من الأنـواع الحـارةً والباردة ، في العديد من المهاد المـرتّبة ، على أنّ المنـاخ في بعض الحقب قد تضمّن فصـولاً بارزة نوعاً ما مما يتيح تواجد هذه الأنواع .

الاوريوبيتيك oréopithèque ـ ان الاكتشـاف الحاصـل سنة 1958 ، لهيكـل عـظمي عجيب لشبـه انسـان في الليـنييت الميـوسيني في بـاكسينيللو (تـوسكـانـة ، ايطاليـا) رد الانتبـاه إلى الـ « اوريوبيتيك» المكتشف سنة 1872. ان شبه الانسـان هذا ، بقامة الشمبنزي ، ذا الوجه الادفق قليلاً [طويل الفكين بارز الاسنان] ، يمتلك أسنانـاً بشريـة وحوضـاً ذا قدمين (وهي من عـلامات البشريين) . ان هذا الحوض يجعله وكأنه فرع من البشـر ، انفصل بـاكراً وتـطور على موازاة فـرع الاشكـال البشريـة ، وتاه في طـريق بدون نهـاية ، فـظل الأوريوبيتيـك نباتيـاً وانقرض بـدون ذريـة معروفة .

البشر المتحجرون ـ كشف القـرن التاسـع عشر عن جـد منازع بشـأنه هـو البتيكانتـروب ، وعن إنسـان منازع بشـأنه أيضـاً ، إنسـان النيـانـدرتـال ، وعن أنـاس من العصـر الحجـري الجـديـد الأعلى « كرو ـ مانيـون وشانسيلاد » . وفي القرن العشـرين تكاثـرت اكتشـافـات البشر المتحجـرين ودراستهم سوف تكون مثمرة .

في القاعدة هناك « اوسترالوبيتيك » ، المكتشفون في أفريقيا الجنوبية منذ سنـة 1925 ، وهـم كـائنات بقـامة الشمبـانزي ، ذوو قـامة منتصبة ؛ سعـة الجمجمـة 600 سنتم³ ولهـم أسنان من النمط الـوسيط . وعاشـوا في بدايـة عصـر بلستـوسين (في ڤيلا فرانشيـان) . ولكن للتـأكيـد بـأن هـذه الأوسترالوبيتيك تشكل أول رسمة للبشرية كان من الواجب التأكد من أن المعدات الخشنـة جداً في عصر بلستوسين الأسفل (كرات متعددة الجوانب وكرات بشكل حصى مهـذبة من البلور الصخـري

pebble culture) هي من صنعها ، وحلت المسألة سنة 1959 عندما اكتشف الدكتور ومدام ليكي في تانغانيكا إنساناً آخر اوسترالوبيتيك (زينجان تروبوس بوازي) ، مقروناً بصناعته الحجرية، مما يثبت أن الاوسترالوبيتيك هم بشر من اسلاف الانسان مباشرة . وعثر على انسان آخر من قبل كوبس في القرب من تيبستي في التشاد ولا نعرف اليوم اوسترالوبيتيك إلا في افريقيا ولكن حضارة الحصى والبلور الصخرى موجودة أيضاً في أوراسيا .

وأقرب الينا (قاعدة بلستوسين الاوسط) يقع آركانتروبيان أو بيتيكانتروبيان . وأكمل من الاوسترالوبيتيك نعرف الآن أربعة أنماط هي : إضافة إلى بيتيكانتروب جاوا (الذي اكتشف منه اليوم عدة نماذج) وإلى إنسان موير أو مويرانتروب ، الذي عثر عليه سنة 1907 يضاف سينانتروب (إنسان الصين) الذي اكتشف من سنة 1922 إلى سنة 1940 في شو - كو - تيان (الصين) وبرفقته صناعة حجرية خشنة (وحجم الجمجمة يتراوح بين 1000 و 1200 سنتم³ والقامة تتراوح بين 155 و 160 سنتم) . وأخيراً في سنة 1954 اكتشف ك . آرامبورغ وو . هوفستيتر الاطلانتروب في البليستوسين الأوسط في ترنيفين قرب باليكاو (الجزائر) مع معدات تشبه معدات شيليان - آشوليان القديم . وأدت هذه الاكتشافات إذاً إلى مفهوم مجموعة قديمة من البشر عرفوا بهذه الصفة ، وتضمنت كائنات مختلفة قليلاً بحسب القارات .

إلا أن اكتشافات أناس من نمط النيانـدرتال قد تكاثرت أيضاً . فالهيكل العظمي في شابيل أوسان (كوريز) المكتشف سنة 1908 من قبل آ . وج . بويسوني ، وبباردون ، والذي دُرس من قبل م . بول ، يقع عند مستوى وحيد القرن الأصوف والرنة (الفورمي) ومقرون بمعدات من نمط موستيريان . وتلت اكتشافات اخرى : في موستييه (دوردونيْ 1908) وفي الفرّاسي (دوردونيْ 1909-1911) في لاكينا (شارانت ، 1911-1920) ، وفي جبل سيرسي (ايطاليا 1939) وفي اوزباكستان (1939) الخ . لم يظهر أي أثر للرجال المتحجرين ، على كل حال ، بين بيتيكانتروب بداية بليستوسين الاوسط والحقبة الرابعة الجليدية ؛ ولكن هذه الثغرة التي مدتها 600000 سنة ، لم تصدم احداً لأن انسان النياندرتال بدا الوسيط الطبيعي والوحيد بين النمط القديم بيتيكانتروب - سينانتروب ، والانسان العارف . وجاءت بعض الاكتشافات المشهودة تغير وجهة النظر هذه .

نشير للذكرى إلى « انسان بيلتدون » ، بقايا جمجمتين بشريتين بعظام سميكة ، عثر عليه سنة 1911 و 1916 بقرب نيوهافن ، ومعهما فك غريب شامبانزي الشكل . وهذا « الاكتشاف » ما يزال يناقش منذ ذلك الحين وتبين سنة 1953 انه تزوير .

وهنا « لقيتان » أخريان لا نقاش حولهما . نذكر في بادىء الامر انسان سوانسكومب (وادي نهر التاميس) . هذا الانسان مزود بجمجمة سميكة حجمها يقارب 1350 سنتمتراً مكعباً ترافقها عظام فيل قديم ومعدات من النمط اشوليني أعلى ، وهي تعود إلى العصر الحجري الحديث الادنى (بين جليدية مندل - ريس) . ان الجمجمة من نمط مماثل المكتشفة في كهف فونتيشفاد (شارانت) من قبل الأنسة هنري مارتان (1947) والتي وصفها هـ . ف . فالوا ، تعود أيضاً إلى بين جليدية سابقة على التجلد الفورمي .

وعلى كل حال ومنذ نهاية العصر الحجري الحديث الأدنى ، يوجد برهان على وجود (انسان

عارف) قديم جداً ، مما يقتضي وجود فرعين بشريين تميّزا باكراً : الانسان العارف القديم (أو السابق المعرفة) وإنسان نياندرتال الذي قضي عليه قبل العصر الحجري القديم الأعلى . فضلاً عن ذلك تم اكتشاف رجال متحجرين متنوعين (اهرندورف وستينهايم في المانيا ، وكرابينا في يوغوسلافيا ، وساكوباستور في ايطاليا ، وجبل طارق وفلسطين) تجعلهم بعض سماتهم النيندرتالية في الجمجمة ـ وذلك بعد نقاش طويل ـ كسابقين للنياندرتال (هـ . ف . فالوا وج . بيفيتو) وقد صنفوا تحت اسم باليانتروبيان .

تبدو الدراسات الاكثر حداثة لصالح العرق الواحد ، واستنتج ج . بيفيتو ، بعد مراجعة لمجمل هذه المسألة (الوسيط في الاحاثة ، مجلد 7 : أشباه الانسان والاحاثة البشرية ، 1957) ، ان إنسان ستينهايم واهرندوروف ، الشكل النهائي للإنسان الاشولي ، يحتوي بالقوة النمطين البشريين المتأخرين « إنسان نياندرتالنسيس » ، وهو نمط تقهقري لم يعش الا قليلاً ، والانسان العارف ، الذي يتمثل في فرنسا ، في العصر الحجري القديم الاعلى ، باعراق كرو ـ مانيون ، وشانسيلاد وغريمالدي الذي بقي وحده سيد العالم . وقدم الميزوليتيك (الألف العاشر قبل عصرنا) عنصراً جديداً : جيشومية الرأس في اناس أوفنت (بفاريا) وأماكن أخرى .

وأمام العدد الكبير من مهاد الرجال المحتجرين ، الذين ظهروا (200 في أوروبا ومثلهم في الخارج) كان لا بد من كتالوغ انتقادي . وظهر اثنان من هذه الكتالوغات سنة 1936 بعناية و . أ . كنستد من جهة وبعناية أ . هو من جهة أخرى . وكانت هذه الكتالوغات مفيدة نظراً لاهمية المراجع الكتبية فيها ، ولم تتضمن لا وصفاً ولا توضيحاً يتعلق بالطبقات والقشرات . ونشر كتالوغ آخر جديد ، حرره 35 مؤلفاً ، تحت ادارة هـ . ف . فالوا وهـ . ل . موفيوس وذلك سنة 1952 ضمن محاضر المؤتمر الجيولوجي الدولي في الجزائر .

الصناعات الحجرية ـ لقد ميز علماء ما قبل التاريخ الاثريون في القرن التاسع عشر عدة صناعات متتالية : الحجرية القديمة وفيها : (الشيلين والاشولين ، والموستيرين والسولوترين والماجدالين) ، والعصر الميزوليتيكي وفيه : (الازيلي والتاردينوزي) والعصر النيوليتيكي ذو الحجر المقصوب . وهذه السلسة سوف تكتمل في القرن العشرين .

والمسألة الأولى هي مسألة الصناعات البشرية الاولى التي قامت في أساس العصر الرابع . فبعد الادوات المقصوبة القليلة الملفوفة قليلاً ، والبدائية جداً التي عثر عليها في مهاد سانت برست (اورولوار ، فرنسا) يشار الى القبضة ذات الوجهين الخشنة والى الصوان المحدد الاسنان في كراغس في انكلترا (ويبورن ،نورويتش ، ابسويتش) والتي تناقش كثيراً . وتم اكتشاف كرات متعددة الجوانب من قبل ك . ارانبورغ في الفيلا فرانشيين في افريقيا الشمالية ، في حين ان مستويات قديمة قدمت حصوات مدورة ومنمنمة (حضارة الحصى). كل هذا دل على وجود شيليان أول ، عرف تقريباً منذ بداية البليستوسين (واضاف اليه ج . بلانشارد البلّميان) . ان هذه المرحلة تتوافق بالفعل مع مرحلة قديمة جداً من عمر البشرية ، هي مرحلة الاوسترالوبيتيك ، في حين ان الشيلّيان والاشوليان القديم يتوافقان مع حقبة بيتيكانتروب ، وسينانتروب وموراناتروب واطلانتروب

(انسان جاوه ، انسان الصين) . . .

في سنة 1930 ، ادخل بروي حقبة جديدة في العصر الحجري القديم الاسفل ، هي حقبة الكلاكتونيان ، والصناعة ذات الشذرات البسيطة جداً ، التي اكتشفت في انكلترا ، وعثر عليها مجدداً في فرنسا كما في افريقيا . . في العصر الحجري القديم الاوسط ، اتصل الليفالوزيان ، ذو الشذرات بالأشوليان وبالموستيريان ، في حين ان الأورينياسيان (كارتيلهاك ، 1906 والاباتي بروي) يدل على الصناعة السابقة على السولوتريان (د . بيروني ميَّز فيه بيريغورديان محلياً واحداً) .

وقليلاً قليلاً امتدت هذه الدراسات إلى آسيا وإلى افريقيا .

ما قبل التاريخ في آسيا ـ في حين كان علماء الآثار السوفيات يستكشفون الاراضي الواسعة في سيبيريا وتركستان ، كان الفرنسيون والاميركيون والصينيون ، ابتداء من سنة 1923 ، يكتشفون العصر الحجري القديم في الصين . في سنة 1927 عرَّف د . دافيدسون بلاك ود . بوهلن سينانتروب شو ـ كو ـ تيان ، في جوار بكين . وعلى مستوى أعلى اكتشف د . و . ك . بي ، سنة 1933 ، سبعة هياكل عظمية لانسان عارف ، وصناعة من العصر الحجري القديم الاعلى .

- في الهند ، درست يال نورث انديا اكسبديشن (هـ . دي تـرَّا ، ت . ت . پاترسون وب . تيلهارد دي شاردان) سنة 1935 التشكيلات الرباعية في البنجاب وفي كشمير ، وعرفت فيها سلسلة كاملة بادواتها وحيواناتها .

في فلسطين اعادت المدارس الانكليزية والاميركية (بادارة مس غارُّود وم . ماك كون) والفرنسية (م . نوڤيل) تركيب ما قبل التاريخ ، باكتشاف صناعات جميلة ، والناس المتحجرين في العصر الحجري القديم النهائي .

وفي الطرف الآخر من آسيا ، في اندونيسيا ، تم توضيح وضع بيتيكانتروب ، واليه تعزى صناعة پادجيتان Padjitan الاحائية . وفيما بعد قاد اكتشاف رجال السولو la Solo ، ثم رجال واد ودجاك إلى أناس هوابينيان ، اسلاف الرجال الحاليين .

قبل التاريخ في افريقيا ـ حقق « قبل التاريخ » الافريقي تقدماً ضخماً في القرن العشرين . إنَّ الصناعة البدائية عند الاوسترالوبيتيك ، والحضارة الحجرية «Pebble culture» التي وجدها هناك ل . آرامبورغ ، ما تزال معروفة في افريقيا الشرقية تحت اسم كافون (أ . ج . ويلاند) ، في الكونغو ، وفي انغولا ، وفي افريقيا الجنوبية .

وقد عثر على العصر الحجري القديم الاعلى الكلاسيكي الاوروبي ، في كل افريقيا ، بما فيها الصحراء التي كانت مأهولة جداً ، في العصور الرطبة من العصر الرابع . انها صناعة البيتيكنتروبيان ، الذين نعرف نمطاً واحداً منهم على الاقل ، اطلانتروب افريقيا الشمالية .

إن الطبقتين الوسطى والعليا من العصر الحجري القديم تظهران اشكالاً متنوعة ، اثبتت في أماكنها مع الزمن . العصر الجديد في الصحراء أصبح الآن معروفاً تماماً ، ليس فقط بفضل معداته

الحجرية ، بل أيضاً بفضل محفوراته العديدة وتصاويره الصخرية rupestre ، المكتشفة انطلاقا من موريتانيا حتى تيبستي . وفيها نميز حقبة قديمة جداً بخلالها حفرت جماهير من الصيادين صوراً لحيوانات برية بحجمها الطبيعي (فيلة ، فرس نهر ، الخ) ، وحقبة أحدث حيث قامت جماهير من الرعيان برسم حيوانات اليفة ، الثيران بصورة خاصة . وبعد ذلك بكثير ، في الالف الأخير قبل عصرنا ، ظهرت تصاوير العربات التي تجرها الخيول ، ثم بعدها أيضاً تصاوير الجمال .

في كل مكان تقريباً نجح الجيولوجيون والاثريون في وضع الملاحظات قبل التاريخية ، ضمن اطارها الجيولوجي ، مما أتاح فهم تطور الانسان الافريقي ، وفهم تطور الصناعات الحجرية ، والحيوانات والنباتات والمناخات . ويمكن ان نتذكر بنوع من العجب والدهشة ، انه خارج وادي النيل لم تعرف افريقيا عصور المعادن . ان برونزبينين الشهير يعود إلى القرن الخامس عشر من عصرنا .

وعرفت سنة 1955 ، ظهور ثلاثة مؤلفات أساسية هي : قبل التاريخ في افريقيا الشمالية لمؤلفه ل . بالوت ، قبل تاريخ افريقيا (مجلد I : المغرب) للمؤلف ر . ڤوفري ، ثمّ قبل تاريخ افريقيا للانسة م . آليمان . في سنة 1960 ، نشر ج . د . كلارك قبل تاريخ جنوب افريقيا (بالانكليزية) .

قبل التاريخ في أميركا ـ ان اميركا الشمالية ، كما اسكنديناڤيا كانت مغطاة جزئياً بطاسة جليدية ، بخلال قسم كبير من العصر الرابع ، وتاريخها بخلال هذه الحقبة قد درس بشكل خاص من قبل آنتفس و . ر . ف . فلنت .

وبخلال امتدادها الاقصى ، امتدت الجليديات المتمركزة حول كندا فوق اكثر من عشرة ملايين كيلومتر مربّع ، ونزلت حتى الخط 39° من خطوط العرض الشمالي ، أي بمقدار 11 درجة جنوبي أوروبا (إنّ خطوط تساوي الحرارة الحالية ترسم نفس المنحنى ، بتأثير من التيار البارد تيار لابرادور) . في أميركا الشمالية ، عثر الجيولوجيون ، كما في اوروبا على أربع حقب كبرى جليدية : نبراسكا ، كانساس ، إيلّينويس ، وويسكونسين ، وعلى « بين جليديات » مماثلة . ان التحاليل الطلعية ، ودراسة الرسوبات ، اعطت نتائج مشابهة لنتائج أوروبا ، كما جرت محاولات تزامنية .

وبالمقابل ، لم يعثر في اميركا على مثل هذا الخصب في الصناعات البشرية ، خصب أتاح فهم قبل تاريخ العالم القديم . فالكهوف والطمي القديم ، لم تعط شيئاً تقريباً ، مما يؤكد ان اجتياح الانسان لاميركا ، عن طريق برزخ أو مضيق بيرنغ هو حدث جديد يعود إلى عشرة آلاف سنة على الاكثر ، في الحقبة الميزوليتيكية .

إن علماء الاحاثة الاميركيين الذين كانوا يتمنون لو ان لهم جدوداً أبعد ، يبذلون بحوثاً ناشطة . مثل ذلك حال ف . آميغينو (1854-1911) ، « مخترع » الانسان الثالثي في اميركا الجنوبية .

ان هذا المعلم الارجنتيني ، المتحمس لقراءة كتب ليل وداروين ، قام بعدة تنقيبات وجنى عدداً كبيراً من الثدييات المتحجرة درسها بفائدة قصوى (راجع مجلد III) ؛ ولكنه اراد باصرار ان يبين نظرية شخصية بموجبها يكون « الانسان » اصلاً من اميركا الجنوبية حيث كان ظهر في منتصف العصر الثالثي ، بشكل كائن صغير « هومونكلوس پاتاغونيكوس » . في سنة 1906 ، كان نظامه كاملاً . وتلت الهومونكولوس أربعة بروتوموس ، هي أيضاً ثالثية (في الحقيقة انها هياكل عظمية لآكلات لحوم ، كائنات اسطورية ، أو هي عظام هنود حمر حديثين) تتبع بيتيكانتروب جاوة ثم « الانسان » الحقيقي .

وعارض الاحاثي الاميركي الشمالي آلس هردليكا بشدة هذه النظرية ودحضها ، بعد أن زار المهاد الارجنتينية ، ودرس المواد المعنية . ثم راجع أيضاً مواد اميركا الشمالية (كالافيراس ، ترانتون ، لانسنغ ، لوس انجلوس ، ملبورن وفيرو (فلوريدا) ، مينيسوتا ، الخ) واستنتج انه من الواجب الالتزام بنظرية الاصل الآسيوي للإنسان الاميركي .

وبعد ذلك اثبتت طريقة الكربون 14 ان انسان تيپكسپان (المكسيك) ، الذي اكتشف سنة 1947 ، ضمن مستودع بحيري وبرفقة ماموث ، لا يرقى إلى أكثر من عشرة آلاف سنة تقريباً .

ويبدو من الثابت الآن ان قبل التاريخ الاميركي محدود بما يوافق ويطابق العصر الحجري الأوسط والعصر الحجري الجديد الأوروبيين . ان النمط الأقدم بالنسبة إلى سكان اميركا الاصليين أي « الهنود الحمر » ، يجب ان يفتش عنه في آسيا الشرقية . والاسكيمو الذين كانوا يقطنون الاسكا وشمال كندا ، وغرونلاند يبدو انهم جاءوا من سيبيريا الشرقية ، وفي عصر حديث جداً .

والمعدات الاكثر قدماً المعروفة ، رمح مسنن ذو أوجه سولوترية ، عثر عليه سنة 1927 في كهف سانديا (نيومكسيكو) مع عظام بيسون وفيل وماستودونت .

وفوق ، كشف نفس الغار مستوى اكثر حداثة ، يحتوي على حيوانات وعلى معدات تسمى من نمط فولسوم . ان هذا النمط من الصناعة ، المكتشف في نفس السنة في محلة فولسوم (نيومكسيكو) يتميز برمح قصير ، المصّنع بدقة والمزود باخدود متوسط . وتحتوي الحيوانات على آخر الماموثات الاميركية . هذا المستوى الآثاري يعتبر عادة كمعاصر للعصر المتوسط (الميزوليتيك الاوروبي) (الالف العاشر قبل عصرنا) .

وهنا حضارة أقرب وأحدث ، هي حضارة رماح يوما (كولورادو) ، المصنعة بدقة ، وغير المجوفة كرماح فولسوم ، والتي قد تكون ذات قبضة ومركبة بالسكين . وحده المستوى الاكثر بدائية في هذه الحضارة سابق لعصرنا ، ويحتوي حتى الآن ماموثاً وعرقاً بائداً من البيسون .

تطور الفن والفكر ـ لا نعرف شيئاً أكيداً حول حياة ناس العصر الحجري القديم الاسفل . ان تربية المواشي والزراعة لم تكن قد ظهرتا الا في العصر الحجري الحديث ، ونستطيع أن نتخيل ان أسلوب عيشهم كان شبيهاً بأسلوب عيش بعض الرئيسيات (أشباه الإنسان) الحديثة التي

عاشت قبل الاجتياحات الأوروبية ، عيشة متنقلة إلى حد ما ، تقتات من القنص ومن الصيد البحري ومن القطاف .

وسرعان ما تعلم الانسان استخدام النار ، وصنع تقنيات متنوعة لاستخدام المواد الاولية اللازمة للمعدات وللسلاح .

المظاهر الحفرية الاولى : أقماع تعود إلى العصر الحجري القديم الاوسط ، وإلى الموستيريان ، ولكنا نجهل مدلولها . في هذه الاثناء كان إنسان نياندرتال قد توصل إلى تطور في الفكر حمله على ممارسة الطقوس الدفنية . وفي العصر الحجري القديم الاعلى كانت المدافن المعثور عليها أكثر عدداً والطقوس اكثر تعقيداً (مجلد I) .

أشرنا (مجلد III)إلى الاكتشافات الاولى في الفن قبل التاريخي ، التي جرت في القرن التاسع عشر . في القرن العشرين ، ان اكتشاف المحفورات والصور الملونة قد تكاثر ، منذ كهوف كومباريل ، وفونت ـ دي ـ غوم إيزي (1902) حتى كهوف لاسكو (1940) ورفينياك (1956) . كل هذا الفن يرتبط بالپاليولتيك أو العصر الحجري القديم الاعلى (اورينياسيان ، ماغداليني‍ان) . واذا بقيت المظاهر الفنية الحقيقية نادرة نسبياً ، فان المغاور المزينة متعددة ، وابل دي فرانس نفسها تقدم اكثر من الف منها ، تشكل مجملاً فريداً بالنسبة إلى أوروبا الغربية .

لقد بيّن س . ريناش ، ج . ديشيليت وج . غوري ان الفن الرابعي كان مرتبطاً بالسحر . فاغلبية المحفورات والتصاوير واقعة فعلاً في اماكن غير مطروقة كثيراً ، ويمكن ان ترتبط بممارسات تعبدية (سجودية) وهي من مواضيعها المفضلة : الدفاع ضد الحيوانات الخطرة ، ومهاجمة الطرائد ، هما من فن الصيادين . في هذه الحقبة نفسها ظهرت عبادة الخصب ، يدل عليها كثرة الانصاب النصفية « لفينوس » بدائية ، اكتشفت ابتداء من فرنسا وصولاً إلى سيبيريا ، مروراً بايطاليا والنمسا . وكلها ذات سمات مشتركة ، وذات أشكال ضخمة وبطن بارزة . وبعض المشاهد الحيوانية تحيي نفس العبادة .

هذه الرسوم على الاشياء المنقولة ، وهذه الانصاب الصغيرة ، وهذه التصاوير الملونة والمحفورات ، والمنقوشات والمنحوتات على جوانب الكهوف ، وهذه المراسم الدفنية ، تمكننا من تخيل مظهر من مظاهر الفكر البشري يعود إلى العصر الحجري القديم الأعلى ، أي إلى حوالي خمس وعشرين الف سنة . وتلت هذه المعالمَ معالمُ من العصر المتوسط (ميزوليتيك) ، والحديث (نيوليتيك) وعصر المعادن . ان الحضارة النيوليتيكية أي الحجرية الحديثة ، امتلكت الزراعة وتربية المواشي ، وتثبيت الانسان في القرى وولدت الحضارة المدينية . وبعدها ننتقل إلى البروتو ـ تاريخ أو التاريخ الأولي والى تطور الحضارة المدهش . وهكذا بعد التقدم اللامحسوس المتدرج عبر مليون من السنين ، انتقل الانسان فجأة ، وبخلال اقل من عشرة آلاف سنة ، من استعمال الحجر المقصوب إلى استعمال الطاقة الذرية .

الفصل السابع

الفيزيولوجية النباتية

I - النمو والتطور : الاوكسينات

إن دراسة النمو والتطور ، وهي وظائف تقتضي ظاهرات الاستطالة ، والتكبير ، والقسمة ، والتفريق الخلوي ،وعلى مستوى المجمل ، مبدأ أعلى من التكامل ، تشكّل احد الفصول الجديدة الاكثر تشويقاً في الفيزيولوجيا. ومظهرها الاكثر بروزاً هو مظهر العرق الهورموني phyto-hormone .

ان النبتة التي تنمو وتتطور تتوجد تحت التبعية الضيقة والضرورية لعوامل الوسط ، وخاصة الضوء ، ودرجة الحرارة ، ولكنها تتجاوب معها لصالحها وذلك بتشغيل أواليات معقدة تنظم الهورمونات : من هنا المظهر المزدوج لمسار البحث ، الذي اهتم بالدرجة الاولى بتحليل السلوك ، ثم التفت نحو معرفة الحتميات العميقة .

وتلت مرحلة الرواد ، منذ خمس عشرة وعشرين سنة ، الاستكشافات المنهجية المرتكزة على بعض المكتسبات الأساسية الحديثة ، معملة وسائل قوية . هذه المرحلة الحاسمة وسمت أولاً بالتعرف على هورمون النمو « الاوكسين المتنوع » ، وباكتشاف تطبيقاته ، ثم ببناء المحابس التجريبية (المختبرات) المعقدة والدقيقة ، من نمط جديد (فيتو ترون) ، وكان أوّل نموذج منها ، هو نموذج البروفسور ف . و . ونت في پاسادينا ، ويعود إلى سنة 1942 .

وعلى أثر الاعمال التي جرت حوالي سنة 1922 ، حول تربية الجذور المستأصلة (و . ج . روبنس) وغيرها من الاعضاء ، توفرت شروط تحقق خطوة كبرى . وبعد مرور ثلاثين سنة على المحاولة الاولى التي قام بها هابرلاندت قام ر . غوثيرت (وبدات الوقت تقريباً پ . ر . وايت وپ . نوبيكورت) باختراع الزراعة اللامحدودة للانسجة النباتية (1938-1939) . وبين السنوات 1934 و 1939 ، تأسست فيزيولرجية النمو والتطور حقاً . وتطورها سوف يكون مفيداً تماماً على الصعيدين الفيزيولرجي والبيوكيميائي . وبالفعل ، لما كانت كل اعضاء النباتات العليا تحت سيطرة الهورمونات ، فان زراعتها ، أو زراعة الاجزاء البسيطة منها ، في اماكن تركيبية ، يمكن أن تتيح اكتشاف وتعريف بعض من هذه المواد الكيميائية الخصوصية التي تؤثر بمعايير متناهية الصغر على أعضاء غير الاعضاء التي استحدثتها : مثل التيامين ، والفيتامين ب 1 ، الذي هو أيضاً هورمون (بونّر 1938, Bonner) ، المركب ضمن الاوراق الخضراء ، والهيريدوكسين أو فيتامين ب 6 ، الخ .

وتتيح فيزيولوجيا النمو كذلك تجديد مفاهيمنا حول الفيتامينـات (و . هـ . شويفـر 1934 ، 1949) . فضلاً عن ذلك ، فتحت سبلٌ جديدة باكتشاف « الجيبريلّين » بـأنواعـه ، وهي مواد ، من مفـاعيلها الكثـيرة انهـا تستـطيع أن تـطلق الضخامـة في الانواع القـزمة ، أو تـوقظ ، من سباتهـا ، البراعم والبـذور . منذ 1926 ، اكتشف أ . كـوروساوا (فـورموزا) أثـر « الجيبريلين » على النمـو : انه لم يكن يومها الا عصارة غير نقية ، ولكنه كان ناشطاً . ولأول مرة استخرجت مادة هورمونيـة من نبتة ؛ وكان لا بد من مرور ما لا يقل عن ثلاثين سنة ، لكي تنتقل إلى المرتبة الاولى من البحث .

إن دراستنـا تتناول بشكـل خاص مجمـوعة الهـورمونـات الأكثر ثبـاتاً ، وهي الأوكسينـات كما تتناول بعض المظاهر الهورمونية حول النمو .

الحتمية الهورمونية في الانتحاءات ـ يعود تـاريخ اكتشـاف الانماط الهـورمونيـة إلى البحوث الكلاسيكية التي قام بها شارل وفرانسيس داروين (1880) المتعلقة بمفعول الضوء على توجه اعضاء النباتات . دلت هذه البحوث على انه في المجنّحات Coléoptile والقـطانيات graminées ، يبـرز النمو ، على مسافة من الذروة ، مع بقائه تابعاً مباشراً لهذه الذروة وما فيها من احساس بالضوء ؛ ان الحافز والتجاوب مع الحافز يقعان اذن في اجزاء مختلفة من العضو .

والى الدانمركي پ . بوازن ـ جنسن والى الهنغاري آ . پآل ، من مختبر فيڤـر يعود الفضـل في ادخـال مفهوم « مـادة النمـو » بـالـذات ، والتي اوحت بهـا اعمـال هـ . فيتنـغ . وبسلسلة من التجارب البسيطة ، الدقيقة والانيقة ، بيَّن الاول (1913) ان الحافـز المنقول من الـرأس إلى منطقـة النمو ، هو ذو طبيعة مادية ، وانه قـادر على اختراق حـاجز من الجيـلاتيـن ، وانه ، عنـدما تكـون الاضاءة وحيدة الطرف ، فان الانتقـال يتم من الناحيـة غير المضـاءة . وبيَّن پآل (1919) ان الـرأس المقطوع في الكولوبتيل Coloptile ، اذا اعيـد إلى مكانـه فوق الجـدعة ، انمـا جانبيـاً ، بحيث لا يحتل إلا قسماً من المقطع ، يحدث انعـطاف ذو تقعـر من الجـانب غير المغـطى ، ويتم هذا حتى في حـال انعدام الضـوء . وبعد أعمـال هـ . صودنـغ (1925) ، فصل تـأثير الضـوء عن تأثيـر مـادة النمـو . وانطلاقـاً من هذه الـوقائـع ، أكد الفيـزيولـوجي الروسي ن . شولودني (1926) ، ان كـل الانتحاءات تنتج عن نمو تفاضـلي مرتبط بتوزيع تفاضلي في الهورمون . ونجـح وانت (1926-1928) ثم دولك (1929) في اسر المادة المعنية بفضل طريقتهم البيولوجية بالانتشـار في الآغار Agar الـذي مهـد الطريق إلى الاستكشـاف النوعي والكمي للهـورمون . بيَّن وانت ان الضـوء يغيـر في تـوزيـع الأوكسين ، وفيـما بعد ، وبعد ڤـان در ويج (1923) ، بيَّن بـأن منحى دوران الهورمـون ، من الرأس حتى القاعدة ، مرتبط باستقـطابية العضـو ؛ ان دوراً ما للجـاذبية الارضيـة قد عُرِفَ على كل حـال (دولك) . ان الاثر الدقيق للهرمون على الاستطالة الخلوية قـد ثبت بفضل تجـارب آ . ن . ج . هاين (1931) : ان الهرمون يزيد في ليونـة (الاستطالـة التي لا رجعة فيهـا) الغشاء الاولي ، لا في المطاطية .

دلـت أعمال ج . بونِّر (1933) ، واعمال كومونر وك . ڤ . تيمانّ (1941) ان نـوعاً من الـرابط موجود بين النمو ، الـذي يقترن بدخول ماء إلى الخلية ، وبين التنفس ، وهذا يقدم الطاقة الـلازمة إلى الخلية . ومنذ 1942 ، تقررت العلاقة (مس د . أ . ريندرس) بين تزايد امتصـاص الماء من

قبل الخلية ، وتزايد التنفس . ويبدا ان النمو لا يعود إلى مجرد تفاعلية امتصاصية ، بل انه يتعلق أيضاً بنشاط السيتوبلاسما .

وعن طريق الأسلوب المسمى راتز ـ الشوفان ، الذي وضعه وانت ، تم اكتشاف الهورمون في شتى النباتات ، وأيضاً ، بكميات اكبر بكثير ، في البول البشري . ان عزل وتحليل هذه المادة قد تم بفضل البيوكيميائيين الهولنديين ف . كوجل ، وآ . ج . هاجن ـ سميت وهـ . اركسلين (1934-1933) .

عمل هؤلاء العلماء على البول فتوصّلوا ، بعد بحوث مدهشة مرتكزة على استعمال طرق التحليل الميكروسكوبي الى تحديد ومعرفة الهورمون الشهير ، الذي اسموه ـ « هتيرو ـ أوكسين » والذي كان ، ببساطة الحامض 3 ـ اندول ـ آستيك ، المعروف منذ 1885 ، والذي كانت مجهولة خاصيته الفيزيولوجية . ويبدا ممكناً ان هذا الحامض ليس وحده هو المعني في الظاهرات المرصودة .فقد اكتشف كوجل ،وهاجن ـ سميت مستحضرين جديدين وناشطين جداً الأوكسين[1] آ (a) وب (B) . وقد أثبتت الأعمال الحديثة أن الحامض اندول ـ آسيتك ، الذي عزل في حالة النقاء الكيميائي ، هو فعلاً هورمون مجنحّة القطانيات . وبالمقابل ان البرهان لم يقم حول دور الأوكسينين أ وب ، ولا حتى على وجودهما في النباتات .

حامض اندول ـ آستيك وخصائصه الفيزيولوجية ـ قبل معرفة وتحديد هورمون النمو وقبل وضعه صناعياً ، اسندت إلى مفعوله عدة وظائف . ولكن البحوث ظلت نوعاً ما تجريبية كيفية . وابتداء من سنة 1934 ، ارتدى علم الأوكسينات ضخامة كبرى وأدى إلى جملة من النتائج .

منذ 1930 ، اجريت بحوث حول تأثير الهورمونات على تأصيل الجذور وعلى تعطيل التطور في البراعم . وبيّن ك . ب . تيمانْ ووانت ان حامض اندول ـ آستيك يتسبب في تجذرة الفسل ، ولكن بعض الاستثناءات أظهرت تعقيدات المسألة .

وأثبت نيمان وف . سكوغ من جهة أخرى سنة 1934 ، ان نفس الأوكسين ، الموجود في البرعم النهائي ، يتحكم بالإستطالة في الجذع تحت هذا البرعم ، كما يتسبب بتعطيل تطور البراعم الجانبية . وأشار ف . لياش وج . ماي (1933) إلى أن تطبيق الأوكسين على الأوراق يعطل نمو الخلايا في طبقة التررم في البتلة ، وهي خلايا تتحكم بسقوط الأوراق . ان الأوكسين يعمل كذلك ، بحسب الظروف ، من أجل اسقاط أو منع سقوط الأثمار ؛ ولكن هنا أيضاً ، تبدو المسألة معقدة .

إن احدى الخصائص الأساسية للأوكسين هي تأثيره في التكاثر الخلوي : تجذر الأفسال ، حفز الاغشية mérisfèmes ، الخ . منذ 1935 ، اثبتت تجارب ر . سنو ، في انكترا اثره على الكامبيوم (القُلب) .

---

(1) هذه اللفظة ، ابتكرها كوغل وهآغن ـ سميت ، تدل الآن على حامض اندول ـ آستيك وعلى كل المجموعة الهورمونية القريبة . وبهذا المعنى سوف تستعمل فيما يلي .

إن الأوكسين يستحدث في البراعم القمّية وفي الاوراق الجديدة ، فينتقل إلى أسفل ، ويتحكم في الربيع بعودة نشاط المريستيم القلبي . بيّن كوتيرت (1935-1939) انه ، في الزراعة اللامحدودة للأنسجة النباتية ، يبدو دائماً ضرورياً ، ولو بكميات ضئيلة (بين 10^{-4} و 10^{-9} غرام في الليتر) .

وتطبيق هذه التقنية في دراسة التسرطن ، قادت حديثاً إلى مفاهيم جديدة حول بيولوجيا crown-gall ، وهو ورم نباتي ملعون (آ . ك . برون ووايت ، 1943) تسببه بكتيريا ، وحل تفاعليات أورامية ، عموماً (غوتيرت 1946-1949) . ان الانسجة السرطانية تتميز عن الانسجة العادية بأنها اكتسبت القدرة على تركيب الأوكسين ؛ وقد أمكن الحصول على تسرطن فجائي للانسجة العادية بفعل الزراعة الطويلة في أماكن تحتوي الأوكسين .

ومن جهة أخرى ان تقنية زراعة الانسجة هي في أساس العديد من الانجازات في معرفة ظاهرة غريبة هي ظاهرة رجوع الشباب ؛ وازالة التفاضل (ر . بوفات 1944) .

الاواليات الأوكسينية - أتاحت اعمال متنوعة اثبات ان حامضاً أمينياً ، هو تريبتوفان هو في أساس الأوكسين ، وان هذا الاخير ينبثق عن تريبتوفان بفضل الاكسدة الانزيمية . وان الجهاز والمقدمة الضرورية لهذا التحول موجودان في رأس غمد الشوفان . أما التنشيط بفعل الضوء فيتم بفضل صبغ يمكن أن يكون فلافو بروتين (آ . و . غالستون ور . س . باكر ، 1949) . ويبدو ان جهازاً انزيمياً اوكسيدازياً موجوداً في كل أقسام النبتة يقضي على الأوكسين الزائد . ولكن كيف يمكن تفسير المفاعيل المتنوعة جداً للأوكسين ؟

الواقع ان الاوليات الأساسية تبقى مجهولة ، ومن المحتمل ان المفاعيل المتعددة للأوكسين ليست الا مظاهر أو دلائل ثانوية ، ذات علاقة بطبيعة الانسجة حيث تقع هذه الدلائل .

الدورية الضوئية ، وتسريع الأزهار - ان مبدأ الدورية الضوئية قد اكتشف سنة 1920 من قبل الاميركيين و . و . غارنر وهـ . آ . آلارد اللذين بيّنا في مذكرة شهيرة ان ردة فعل النباتات تجاه الدورية الضوئية ، أي تجاه المادة النسبية للنهارات والليالي ، تترجم بصورة رئيسية ، من خلال سلوكها المتعلق بالأزهار .

وبعد ذلك ، تمّ تصنيف النباتات ضمن ثلاث فئات كبرى : فئة « الايام القصيرة » (كريزانتيم ، توبينامبور) ، فئة « الايام الطويلة » (الشمندر ، الجوسكيام) ، فئة غير الآبهة (البندورة ، الذرة) . بالنسبة إلى الفئتين الاوليين ، لايحدث الأزهار ، الا بعد أو قبل مدة محددة من التنوير اليومي ؛ أما فئة اللامبالية ، فالضوء لا يتحكم ، بأي شكل كان بقدرتها على الازهار . هذه الوقائع هي في أساس تقنيات الحث الضوئي الدوري ، وهي تقنيات تطبق بشكل واسع في الإنبات الزراعي horticulture . ودلت تجارب ك . ك . هامنر وج . بونّر (1938) بأن حافز التزهير يتكون في الاوراق ؛ وهو ينتقل عبر النسغ المصنع إلى المراكز حيث تتكون الخصائص الازهارية . ويمكن نقله بالألقاح . ويسود الاعتقاد ان هورموناً ازهارياً (مولد الأزهار) ، أو مركباً هورمونياً ، يدخل مباشرة في الظاهرة . الا ان مستخرجات من النباتات في حالة الازهار بقيت بدون أثر على

النبتة المزروعة . ولا نعلم أكثر عن علاقات الهورمون الممكنة بالأوكسين ، رغم ان دوره مقرر . وفي النباتات ذات الايام الطويلة ، يبدو الحافز أكثر تعقيداً . وسنداً لاعمال آ . لانغ وج . ملشر (1943-1948) تتولد عوامل كابحة للازهار عبر الليالي الطويلة ؛ ان المدة المحدودة بالايام يمكن أن تقصر اذا خفضنا درجة الحرارة (ان البرد يوقف الردع أو المنع) .

في بعض النباتات لا يحصل الازهار الا بعد تعرض البراعم أو الغرسات ، خلال مدة من الوقت (عدة أسابيع أو أشهر) لدرجة حرارة منخفضة (من صفر إلى 5 درجات مئوية) ، إنّها عملية تسريع الازهار المستعملة في الزراعة ، منذ تجارب الزارع البيولوجي السوفياتي ت . د . ليسنكو (1923) .

في نظرية هذا الباحث الطورية stadiale ، تتحكم درجة الحرارة (مرحلة الاحترار) والضوء (العرحلة الضوئية) في عملية التزهير . وقد ثبت ان حث حافز تسريع الازهار ، يمكن ، في بعض الحالات ، ان ينقل بواسطة التلقيح (ج . ملشر ، 1937) .

وبالاجمال ، تؤثر درجة الحرارة والضوء ، مع مؤثرات اخرى في بعض النباتات لاطلاق الاواليات المنظمة التي تجعلها مؤهلة للازهار ، ضمن ظروف ملائمة .

الواقع ، ان هذه المسائل معقدة للغاية اذا نظر اليها من خلال عدد كبير من الانواع ، وباستمرار في الزمن وفقاً للتقنيات التي استعملها ب . شوار ، منذ 1935 . الشيء المؤكد : ان الصاق الأوكسين بالاوراق لا يحث الحالة الازهارية ولكنه قد يعطل الازهار . فضلاً عن ذلك ، ان وجود تفاعلات تنموية تجاه الدورية الضوئية (شوار) يدل على وجود علاقات بين الاوالية الاوكسينية ، والأزهار .

وقد حاولت نظريات عديدة أن توضح ظاهرات الحث على حالة الأزهار ؛ وكثرتها تدل على بقاء مسافة يجب اجتيازها .

وأحد أواخر التطورات بهذا الشأن (هـ . آ . بورثويك 1952-1960) تناول التحليل عبر ضوء وحيد اللون لمعرفة الدورة الضوئية . وقد أدى إلى طرح وجود الصبغ النوعي phytochrome الذي يرتدي شكلين : أحدهما يمتص في الاحمر حوالي 60 m µ والآخر يمتص 730 mµ ، وأثاره تتعاكس فيما خص تأهيل الاوليات الزهرية . وأيضاً تمت الاستعانة بمفهوم التفاعل الضوئي الارتدادي لابراز بعض الظاهرات التنموية المقترنة بالنحول (النمو في معزل عن الضوء) أو المقترنة بالبرعمة .

تطور الثمرة ـ الالقاح الذاتي parthénocarpie ـ بشكل عام لا بد من التلقيح لتطور الزهرة والثمرة . في سنة 1936 ، نجح ف . ج . غوستافسن نجاحاً كبيراً حين وضع الأوكسين على مبيضات غير ملقحة ، في افتعال تطور الثمرة حتى النضج ؛ وهكذا تم الحصول على اثمار بدون بذور سميت الملقحة تلقيحاً ذاتياً (البندورة ، العنب ، التين) .

إن الأوكسين يحمل عادة إلى الكأس بواسطة اللقاح الذكري ، ويظن ان التلقيح يجب أن

يحفز انتاج الأوكسين بواسطة المبيض (موير، 1942) . وقد اكـدت تجارب ج . ب . نيتش Nitsch سنة 1950 الوظيفية الاوكسينيةللبزور في تطور الثمرة ، ثمـرة الفريـز . في بزر الشـوفان يتم تـركيب الأوكسين ، في بادىء الامر داخـل الالـبومين ، ثم في الجنين (ل . ك . لـوكويـل ، 1953) . ولا نعرف شيئاً حول النظام الانزيمي ، الذي ينطلق منه الاوكسين الذي لا يشكل الا احد العوامـل في التطور (سنداً لما كشفته تجارب زراعة المبيضات المستأصلة) .

ان نضج الاثمار هو مرحلة أخرى ، غير معروفة كثيراً . والحدث الابرز حول هذه النقطة كان اكتشـاف اثر الاثيليـن (ف . أ . ديني ، 1922) المستعمـل الآن في الانضاج الاصـطناعي بشكـل شائع .

أوكسينات جديدة تركيبية وهورمونات ـ ان البحث عن الاجسام التركيبية القـريبة كيميـائياً من حـامض اندول آستيـك ، قد جرَّ إلى دراسة عـامة للعـلاقات بين البيئـات الكيميائيـة والخصائص الفيزيولوجية وكان من الواجب من اجل هذه الغاية وضع منهج ريازي ، يتناول بدقة الاثر الأوكسيني المباشر .

وقـد استخلصت بعض القواعـد ، واستعملت كمرشـد في انتقاء آلاف الاجسـام التي تجب ريازتها ولكن أيـاً من النظريـات المقامـة للتوضيـح لم تصمد أمـام الوقـائع : وعلى هـذا ـ ومن بين اخريات ـ تبين ان الحاجة إلى نواة دورية ، حاجة كانت تبدو راسخة ، قد اعيد النظـر فيها حديثـاً . إلا ان العديد من الاجسام قد اخذت . فالكثير منها ، المكتشف منذ زمن بعيد ، لـه كل خصـائص حامض اندول ـ آستيك (حوامض انـدول ـ بوتيـريك والفـا ـ نفتالين ـ آستيـك) . وهناك حـوامض أخرى (مثل اسيـد تري ـ يـودو ـ بنزويـك) ذات تصرف فـريد ، وحـدها تـظهر غيـر فاعلة . فـاذا اضيفت إلى الاوكسين ، ضخمت مفعوله أو عطلته بحسب المعيار . هذه البحوث كان لها تطبيقات حـاسمة على تـوجه التـربية الـزراعية وعلى الـزراعة . وهكـذا ولدت صنـاعـة مبيـدات الاعشـاب المنتقاة ، والمعروفة بشكل خاص تحت نوع مجمـوعة 2,4 – D (حـامض 2,4 ديكلورو فينوكـسي ـ آستيك) . ومبدأها بسيط : في تركيـز معين يعمل 2,4 – D كمـا يعمل حـامض اندول ـ آستيـك . وفي تركيز أقوى يصبح سامـاً بالنسبة إلى غالبيـة النباتات باستثناء القطانيات والنباتات القـريبة منهـا . ومن هنا استعماله في زراعة الحبوب وقصب السكر . وبالنسبة إلى كـل زراعة تبذل جهود لمعرفة الدواء المنتقى .

وهناك نتيجة أخـرى ، اكثر بـروزاً ، اكتشفت وهي السيطرة الكيميـائية على التـزهير في نبتـة الاناناس (ج . ڤان أوفربيك 1944-1946) .

فاذا مضى ستة أو ثمانية أسابيع على المعالجة بحامض الفا ـ نفتالين ـ آستيك ، تـزهر النبتـة وتتفتح . وترتكز الزراعـة الصناعيـة الحاليـة للأنـاناس على هـذه التقنية المقـرونة بتقنيـة المبيدات العشبية الانتقائيـة ، وعلى وسائل أخرى بالغة الكمـال . وقد طبقت بـرامج بحـوث منهجية متعلقـة بالحث وبالتعطيل الكيميائي للإزهار ، وهي برامج مرتبطة جزئياً بالنتائج العملية المتوقعة .

إن الحث الكهربائي للإزهار قد حصل هو أيضاً في عـدد من النباتـات ذات الأيام الـطويلة ،

خارج القواعد الضوئية الدورية ، وذلك بمعالجة أحد الجيبريلين وهو حامض جيبرليك ؛ وهذه المادة مستخرجة من فطر في الارض ، وتركب اليوم نقية ، بعد بحوث صعبة قام بها أ . كوروساوا 1926 ، والعالمان اليابانيان ت . يابوتاوت . هاياشي (1939) ، ومجموعات من الكيميائيين الاحيائيين اليابانيين والانكليز والاميركان (1953 -1955) .

يوجد ، ولا شك ، علاقة بين الجيبرلين ومولد الزهر ، ولكن المسألة معقدة تماماً ولم تتوضح . والغريب في الأمر ان الجيبرلين لا يؤثر في نباتات الايام القصيرة في حين أن اثر مولد الازهار هو ذاته على ما يبدو ، في الفئتين من النباتات (تجارب التطعيم) .

وعدا عن أنواع الجيبرلين التي عُرف وجودها في النباتات العليا ، لفتت الانتباه مواد أخرى عديدة ، في السنوات الاخيرة . فالكينيتين ، وهو مشتق من الآدينين ، يستخرج من A D N ومن مني سمك الرنكة (مكوغ ، 1956) ، وهو يحرض الانقسام الخلوي في التبغ كما يحرض الأورام . اكتشف ج . فان اوفربيك وآ . ف . بلاكسلي (1941) ان حليب جوز الهند يحرض نمو بعض الأجنة . وقد نجح علماء الكيمياء الإحيائية في جامعة كورنل ، الذين باشروا تحليل هذه المادة ، في التصرف على أربعة أجسام ذات مفعول أوكسيني ، ومنها الديفينيل ـ أوري (ف . ك . ستيوارد ، أ . م . شنتز 1956) ؛ وقد شكل ذلك باباً مهماً في البحث حول مشتقات البولة .

وذكر هذه الوقائع يدل على أن علم الهورمونات هو في أوجه ، ويمكن توقع تقدم سريع في تحليل الأواليات التي تعمل في النمو وفي التطور ، وكل تقدم في معرفة هذه الوقائع قد يكون له نتائج ذات أهمية نظرية وعملية قصوى . وقد بديء في اكتشاف الروابط بين التنفس والنمو . وجرت محاولة من أجل صياغة نظرية عامة حول المفعول الأوكسيني (فرضيات فلدسترا ، وموير وج . بونر الخ . . .) وحقل التطبيقات الاقتصادية يتسع كل يوم . ان مسألة الأورام الخبيثة يمكن أن تعالج أيضاً على هذه الجهة ؛ وإذا كان الأمر كما يعتقد ستيوارد ، بأن النمو هو توازن بين المحرضات والكوابح ، فاننا نرى كيف ان بعض الاضطرابات يمكن أن تؤدي الى النمو ، والى التضخم التشوهي .

II ـ نظرية التنفس

في أواخر القرن التاسع عشر ، برز بوضوح معنى البحوث التي سوف تؤدي إلى المفهوم المعاصر ومنذ سنة 1925 إرتسمت ثلاث نظريات باعتبارها الأطر والمبادىء الأساسية في هذه البحوث . فقد فهم التنفس الخلوي ، وفي طبيعته العميقة ، عند مستوى المسألة العامة المتعلقة بالأكسدة البيولوجية (نظريات وربورغ ، وويلاند) ، وفي روابطه بالخمائر . إنما ينقص هذه المعارف مفهوم أساسي وضعته البحوث الجديدة موضع الاثبات وجعلت منه واحداً من اهتماماتها الرئيسية ، الاهتمام بالدور الطاقوي الذي يلعبه التفسفر . فضلاً عن ذلك ان نظرية المجمل قد توسعت كثيراً : وقد جرى التركيز على التنفس كعملية منتجة للمواد الأساسية في التركيبات الاحيائية الكبرى .

الاكسدات البيولوجية ـ التنفس ليس الحرق أو الاشتعال . وقد أدرك كلودبرنار ذاك تماماً عندما تكلم عن معادل الاشتعال . وبالفعل ، وبالتأكيد ، تجري العملية بدرجة حرارة قليلة

الارتفـاع وبمسـاعـدة ضـروريـة من المـادة الحيـة . ان التعبيـر الاجمـالي الكـلاسيكـي : $C_6H_{12}O_6+6O_2=6CO_2+6H_2O$ الذي يوضح الحدود الأساسية والنهائية للعملية ، لا يكشف شيئاً حول طبيعة المراحل الوسيطة وحول الأواليات .

وبسرعة فائقة ، تم اكتساب مفهومين : لا توجد اكسدة مباشرة للجوهر بواسطة أوكسيجين الهواء ، بل تجزؤ للخلايا العضوية بواسطة سلسلة من التفاعلات الميسرة بـواسطة أنـزيمات (آ . ن . باش 1897) . ولكن كيف تتم عمليات الأكسـدة ؟

هذه المسألـة الغامضة لمدة طويلة قد فهمت أخيراً على أثر سلسلتين من الاعمـال الجليلة التي قام بها هـ . ويلاند ـ ت . تنبرغ (1912-1920) من جهة ، و أ . وربـورغ ـ د . كيلن (1921-1949) من جهة أخرى . ومنذ 1926 ، تطلع هـ . دونكر وآ . ج . كلويجفر إلى تركيبة ممكنة بين النظريات المتعـارضة ظـاهريـاً الصادرة عن هؤلاء العلمـاء ؛ وقد تحققت هـذه التركيبـة عملياً قبـل سنـة 1940 بقليل .

وربـورغ وتنشيط الاوكسيجين ـ كان اوتو وربورغ عالماً المانياً ذا عبقرية خصبـة وقويـة ونال جائزة نوبل سنة 1931 ؛ فقد فتحت أعمـاله حـول الايض الخلوي أبعاداً كثيـرة ؛ ونحن مدينـون له بشكل خاص انه انجز ، على اثرج . باركروفت وج . ب . س . هالدان (1902) طريقة كلاسيكية لدراسة « مانومترية » للتبادلات الغازيـة ، قدمت خـدمات كبيـرة جداً . انـه هو ، بشكـل خاص ، الذي وضع الدور الاساسي للمعادن الثقيلة كميسراتٍ بيولوجيـة ، كما بيَّن السمـة المضللة لنظريـة الانزيمات المعتبرة كمواد عضوية خالصة . لقد أثبت وربورغ بأن الاوكسيجين الخلوي لا يمكن ان تستعمله الخـلايا الا بعـد التنشيط (تحول إلى اوكسيجين ذري) بـواسـطة انـزيم تنفسي وان هـذا الانزيم يجب أن يكون بروتيناً متصلاً بالحديد ، بروتينياً دموياً .

الواقع أن المسائل التي حلها عمل وربورغ كانت مطروحة منذ قرن . منذ 1820 ، حصل أ . دافي ، بواسطة مساعدة (كاتاليز) اسود البلاتين ، على اكسدة بدون هواء لـلايتانـول وتحويله إلى حامض آستيكي ؛ وقرّب برزيليوس هذه الاكسدة ـ بحرارة متدنيـة ـ من التخمير الاستيكي بـواسطة بكتيريا : « انزيم غير عضوي » في حالة ، « انزيم عضوي » في حالة أخرى .

إن احدى النجاحات الكبرى التي احـرزها وربـورغ انه اختـرع ، بعد دافي ، نـظاماً جـديداً اصطناعيـاً للتنفس ، « نموذجـاً تنفسياً » محسنـاً ، يتيح تعميق معـرفة الـدور المساعـد الذي تلعبه المعادن الثقيلة ، دور الحديد خاصة ، الذي كشفته له تجاربه حول تنفس بيضات التوتيا .

واعتقد إن الحديد ، كمعدن ثقيل كالبلاتين ، يمكنه ، كهذا الاخير ، أن يكون موضوع تغير في القدرة (Valence) وان يكون ، بحكم وجوده المفيد الحاسم في الخلية الحية ، العامـل الحاسم المولد للانزيم . وبيّن هذه الفرضية بتجارب بقيت شهيرة ، وتوصل إلى اكتشاف رئيسي ، اكتشاف الانزيم التنفسي[1] .

---

(1) ان تاريخ علم الانزيمات تناوله ر . كهل (الفقرة I ، الفصل I من هذا القسم) .

من المعـروف منـذ زمن بعيـد ، ان اوكسيـد الكـربـون في الـظلام ، ينقـل الاوكسيجين من الهيموغلوبين من الدم ، وان هذا التفاعل يرتـد في الضوء . الـواقع ان تنفس الخمـائر وتنفس بعض البكتيريا الذي يتعطل بفعل الاوكسيد كـربون في الـظلام ، والذي ينشط في الضـوء ، يقدم احتمـالاً قوياً لصالح الطبيعة الدموية في القسـم الناشط من الانزيم . وبواسطة منهج انيق مرتكز على الـدراسة المقارنة للاطياف البصرية والكيميائية الضوئية ، بيّن وربورغ مصداقية هذا التصور .

في « النماذج التنفسية » التي وضعهـا وربورغ (حيث المسـاعد هـو مركب آزوت ـ حـديد ، مشتق همبني) ، كمـا في الخلية الحيـة ، انه الحـديد في الحـالة الحـديدية الذي يسهـل عمليـة الاكسـدة ؛ هنا تـأكسـد ذاتي ، أي اكسـدة عفويـة بوجـود اوكسيجين الهواء : ان الحـديد المؤكسـد يصبح ثلاثي القدرة (حديدياً ferrique) ويقدم الكتروناً للاوكسيجين (تقوم الاكسدة هنا ، لا على طرد الهيدروجين بل بخسارة الكترون) .

كيلين واكتشاف الملونات النووية ـ تلقت اطروحة وربـورغ دعماً حـاسماً من قبـل الانكليزي د . كيلين الذي اعاد سنة 1925 اكتشاف الملونات النوويـة (cytochromes) ، وهي اصباغ مكتشفـة في عضـلات الحشـرات منـذ 1886 من قبـل مـك مـون ؛ في سنـة 1939 ، اثبت كيلين وأ . ف . هارتري ان الملّون النووي a_3 يمتلك كل خصائص الخميرة التنفسية التي اكتشفها وربورغ وسمياهـا « ملون نووي ـ أوكـسيداز » (cytochrome-oxydase) .

عرف كيلين في أعماله الاولى وحدد ثلاثة ملونات نووية (a, b, c) ، واعطاهـا دور الوسيط في تفاعليات التنفس . هـذه الاصباغ « المشتـركة بين الحيـوانات ، والخمـائر والنباتات العليـا » هي بـروتينـات دمـويـة ، مثـل الهمـوغلوبين : ان ذرة الحـديـد مـدمـوجـة ضمن معقـد بنيـوي (نـواة تترابيروليك) مرتبطة بالبروتين . ان الملونات النووية c (المعـزولة والمـدروسة سنـة 1937-1939 ، من قبـل هـ . تيوريـل) و a و a_3 ، موزعـة في كل الخـلايا الحيـة غيـر المهـواة ، حيث تؤمن نقـل الالكترونات والبروتونات . ان الملون النووي b ، المنتشر في معظم الانسجة النباتية ، ما يزال غير معروف تماماً .

هكـذا يتم تصور التفـاعلية : ان الملون النـووي c الحديـدي يؤكسـد فـلافـو بـروتين متقلّصـاً ويصبح حديدياً بربح الكترون واحد ، ويتحرّر $2H^+$ ويتأين ($H \rightleftharpoons H^+ + e$)؛ وبحكم عـدم تأكسـدة ذاتيـاً ، يعود الملون النـووي c فيتأكسـد بـواسـطة الملون a ، الـذي بـدوره غير ذاتي الاكسـدة ، وبواسطة الملوّن النووي ـ اوكسيداز . وأخيراً يعود الانزيم الذاتي الاكسـدة إلى حالـة الحديـدية ، « السيتوكروم ـ اوكسيداز » ، فيتأكسـد ذاتياً ، مبـاشرة بـواسطة الاوكسيجين الجـزيئي ، الذي يتلقى الكتـرونين ، وفقاً لـرسمية وربـورغ ($2Fe^{++} + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow 2Fe^{+++} + O^{--}$) فينشط ؛ وينتج الماء ($2H^+ + O^{--} \rightarrow H_2O$) .

ان بعض الخمـائر غيـر البروتينـات الدمـوية تمتلك خـاصة تنشيط الاوكسـجين ، وخصـوصاً مؤكسـدة (oxydase) حامض أسْكربونيك (زنت ـ جيورجي ، 1931) ، والغلوكوز ـ اوكسيداز (د . مولر ، 1925) و « كاتيشولـوكسيداز » (مس وهلدال ، 1910) . بيّن لـونديغـارد (1955) ان الملون

النووي b يمكنه أيضاً أن يلعب دور المؤكسدة (اوكسيداز) .

وفي الطرف الآخر من التفاعلية ، توضحت المراحل الاساسية للتقهقر بفضل أعمال ويلاند ومدرسته .

الاكسدات بنزع الهيدروجين . مساعدات نزع الهيدروجين - اكتشف هينريش ويلاند ، منذ 1912 ، ان أكسدة بنزلدهيد وتحوله الى حامض بانزويك يمكن أن يحصل بغياب مطلق للأوكسجين الجزيئي ، انما مع وجود ماء . ويسهل التفاعل بواسطة البلاتين الغرائي الذي يثبت الذرتين من الهيدروجين المنتزعتين من جزيء بنزلدهيد المميه . وفيما بعد ، تعممت نظرية الاكسدة عن طريق نزع الهيدروجين وتوسعت فشملت الاجسام الحيوانية والنباتية (عضلات ، بكتيريا ، وخمائر نباتات عليا) . انه نزع للهيدروجين يتدخل في أكسدة الكحول الاتيلية وتحويلها إلى حامض آستيك بواسطة بكتيريا (ويلاند 1913) . منذ اكتشاف تونبرغ (1917) نازع للهيدروجين خاص (قابله الطبيعي هو الملون النووي b) ، استعمل ازرق الميتلين كقابل اصطناعي للهيدروجين مع معرفة أكثر من أربعين نازع للهيدروجين . وهي تتزاوج مع قابلات للهيدروجين (بعدد صغير) : DPN ، فلافو بروتينات ، أو ، في بعض الحالات ، ملون نووي أو TPN ؛ ان نازع الهيدروجين هو الذي يعطي للتفاعل خصوصيته .

ويمكن اليوم تصور مبدأ الاكسدة التنفسية : نازع للهيدروجين خصوصي يحمل عنصرين من H^+ منتزعين من الأصل ، ويتخذ شكلاً مختصراً . هذا النازع تعادل، أكسدته بواسطة فلافو بروتين يتضاءل هو بدوره . وتولد أوالية معقدة تسمى أوالية تحول الالكترونات (نازع الهيدروجين ← الفلافو بروتين ← الملون النووي ← الملون النووي - المؤكسد) سلسلة من الوصلات بالنسبة إلى البروتونات وإلى الالكترونات اثناء عملية نزع الهيدروجين في المرحلة اللاهوائية من التنفس ، تتابعاً يؤدي أخيراً إلى احتراق الهيدروجين ، في حين يتأمن سيل الالكترونات بفعل ان قوى تضئيل الاكسدة تزداد ارتفاعاً وصولاً إلى الاوكسيجين . ان هذه الانظمة التحويلية ، أو السلاسل التنفسية تحرر كمية كبيرة جداً من الطاقة ، وتتحكم الخلايا باواليات خاصة من اجل الاحتفاظ بها كاحتياط . ان هذه المسألة الاساسية سوف تعالج في مكان آخر .

أعطت نظرية ويلاند التي طورها تونبرغ (1916-1920) توسعاً ضخماً لمفهوم التنفس . في التنفس ، يلعب اوكسيجين الهواء المستنشق ، بعد التنشيط ، دور القابل النهائي للهيدروجين لاعطاء الماء ، هذا الهيدروجين كان ينتزع من الخلايا العضوية . نعرف الآن ان الـ CO_2 المتصاعد ينتج عن عمليات نزع الكاربوكزيل (ان CO_2 هو مجموعة كاربوكزيلية) ، ومن جراء هذا ، فهو ينبثق عن التفكك وعن تحولات الخلايا العضوية . ولكن المعنى الاساسي للتنفس يكمن في أواليات استنفار الطاقة القابلة للاستعمال ، « عملة صغيرة » طاقوية ، حسب قول زنت - جيورجي ، وهو يدخل أيضاً في انتاج هذه المركبات الكربونية المتنوعة جداً (من واحد إلى بعض ذرات C) ، ركيزة و « عملة صغيرة » في عمليات التركيب الاحيائية الكبرى .

التخمر الكحولي - يفترض على سبيل الطرح المحتمل جداً ان التخمر الكحولي والتنفس

اللاهوائي يمكن ان يتماثلا ، وان التنفس الطبيعي في النباتات يتم بخلال مرحلتين متاليتين عادة ، الاولى لا هوائية والثانية هوائية (نظرية فيفر - بالادين - كوستيتشيف 1888-1920) . وهكذا يتم التخمر الكحولي والتنفس متماثلين في بادىء الأمر ، ثم يفترقان بحسب تدخل الاوكسيجين أو عدم تدخله ؛ وينتج عن الحالة الاولى ماء و CO_2 ، وكحول و CO_2 في الحالة الاخرى . وعند وجود تركيزات ضعيفة من الاوكسيجين قد تظهر التفاعليتان معاً .

وفي الحالة الابسط حيث يكون الاصل هو الغلوكوز ($C_6H_{12}O_6$) وليس الغلوسيد الاكثر تعقيداً أو ليبيداً (دهناً) أو بروتيداً ، لا بد من ما لا يقل عن 13 مرحلة كبرى حتى تكمل التفاعلية العامة المعروفة باسم رسيمة امبدن - مايرهوف - بارناس أو E. M. P. .

إنه بالدرجة الأولى ، الغليكوليز بمعناه الواسع (ابتداء من الغلوكوز وصولاً إلى حامض بيروفيك) المتميز ، بشكل خاص ، بتفاعلات فسفرة ؛ فيتم الانتقال من مراتب غلوكوز - 6 - فوسفات أو استر روبيزون ، فروكتوز - 6 - فوسفات ، أو أستر نوبرغ وفروكتوز - 1,6 - ديفوسفات أو أستر هاردن ويونغ (استرات [تجميعات] على الكربونين 1 و 6)، ثم يقع الانفصال (الغلوكوليز بالمعنى الضيق) في السلسلة الغلوسيدية إلى 2 تريوفوسفات (سكّريات بـ C_3) : أول تكسير أو تشطر للجزيء الأساسي (آ . ي . ڤيرتانن ، 1924 ، الخ) .

وترتدي التفاعلات التالية أهمية كبرى ، اذ عند هذا المستوى الدقيق يدخل الفوسفات المعدني الضروري لصنع حامض ديفوسفو - غليسريك (جسم من C_3) ؛ وبكلام آخر ، يحصل قلب للفوسفات المعدنية إلى فوسفات عضوية (وربورغ وكريستيان ؛ نيجيلين وبرومّل ، 1939) . ولكن الفوسفور يلعب دوراً أوالياً في كل الايض الخلوي ، خاصة بشكل استرات « أوز oses » في حامض اورتو - فوسفوريك (PO_4H_3) . في الحالة الحاضرة ، تحرر أكسدة التريوز - فوسفات بواسطة مُساعد على نزع الهيدروجين (DPN) طاقة « تؤسر » في معظمها بواسطة الفسفرة ، والعملية التالية تقوم على نقل - ضمن أفضل شروط - الطاقة المحبوسة في جسم ما ، إلى حيث تكدس من أجل استخدام لاحق ، هذا الجسم هو آدينوزين ديفوسفات أو ADP الذي يتحول إلى ATP أو آدينوزين تريفوسفات (آسيد آدينيل - تري - فوسفوريك الذي عزل في انسجة النباتات ، سنة 1950 من قبل هـ . ك . آلبوم ، الخ) (ك . لوهمّانّ ومايرهوف ، 1928-1935) . ان اسيد آدينيليك أو آدينوزين مونو - فوسفات أو AMP و ADP و ATP هي مثل CoA ومثل الكوانزيمين I و II، استرات فوسفورية من ادينوزين، والآدينوزين هُوَ « ريبوز » (مرتبط بركيزة آزوتية من مجموعة البورين ، الأدنين) ؛ وهي تتميز بعدد الجزيئات الفوسفورية المحددة . ودلت أعمال ف . ليپمان (1941) على أهمية المركبات الفوسفورية ، كمثبتات أو حاملات الطاقة المتاحة ؛ ويعود إلى هذا العالم فضل التمييز الذي أصبح كلاسيكياً ، بين ارتباطات غنية وارتباطات فقيرة بالطاقة . في الفوسفات العضوية مثل الهكزوزفوسفات و AMP ، حيث ترتبط مجموعة الفوسفات بالوظيفة الكحولية ، يكون الاتصال من نمط فقير (2-4000 cal) ؛ ويكون غنياً بين مجموعتي فوسفات ، كما في ADP و ATP (10 ~ 14000 cal) . وكان هاردن ويونغ (1905) أول من أثبت مشاركة الفوسفات المعدنية في مفعول الزيماز المستخرج من الخمائر ، وكشفا على الهكزوز

فوسفات الأوّلي . وتماشياً مع هذه البحوث ، قام آمبدن (1915) ومايرهوف باولي ارصادهم حول الانسجة الحيوانية .

وبعد النقل الانزيمي لفوسفات إلى ADP ، يتشكل آسيد 3– فوسفو غليسريك ؛ ويحدث تجازؤ فيتكون آسيد 2– فوسفو- غليسريك . وتتم عملية غليكوليز بنزع الماء (آسيد- فوسفو- انول پيروفيك) مع عملية نزع فوسفور أخيرة : ويتكون آسيد پوريفيك $CH_3\ CO\ COOH$.

بعد التزويد بالغلوكوز (غليكوليز) يحصل نزع للكربون (ديكاربوكزيلاسيون) (بفضل كوكاربوكزيلاز) من آسيدپوريفيك ، وتحرير للـ CO_2 وحدوث لـ آسيتالديد $(CH_3\ CHO)$ (وسيط اكتشفه ك . نيوبرغ ، 1911 ، بواسطة تجميد السلسلة الانزيمية) ثم ، بتخفيض هذا الجسم الاخير ، يحصل كحول اثيلية $(CH_3\ CH_2\ OH)$. انطلاقا من جسمٍ من C_6 توصلنا إلى أجسام من C_1 و C_2 .

في التخمير الكحولي ، كل أكسدة مستكملة لجزيء من الغلوكوز تنتج اعادة شحن جزيئين من ADP ، انطلاقاً من أسيد اورتوفو فوسفوريك معدني ثمّ تحويلهما إلى ATP : ويتم الحصول على اتصالين ، وتختزن طاقة متاحة (من عيار 25000 cal) .

هذه الرسيمة رغم اختصارها ، لانها تتجاهل كل اعتبار حول الاوليات والحركية ، والانزيمات ، فانها تدل على تعقيد الظاهرات . وكان لا بد من نصف قرن من الجهود المتتابعة من قبل العديد من مجموعات العلماء ، من اجل التوصل إلى الحالة الراهنة من المعارف المتوفرة لنا . ان التيقن من النتائج الحاصلة هو بحيث ان غالبية التفاعلات قد اجريت في المختبر باستعمال مقتطفات خلوية وانزيمات مصفّاة .

على أثر ملاحظات ليبمان (1936) ووربورغ ، دلت أعمال حديثة (أ . راكر 1948-1954 ؛ د . ت مكن . سكوتْ وس . كوهن ، ب . ل . هوريكر ، الخ 1951) ، بان غلوكوز- 6- فوسفات يمكن ارجاعه إلى تريوز فوسفات وفقاً لعملية مختلفة عن هذه الرسيمة E.M.P : وهذه هي « نقلة » الباحثين الانغلوسكسون أو « نقلة بانتوز- فوسفات » أو دورة هوريكر ؛ سكر من C_7 ، سيدو هبتولوز-7- فوسفات هو احد الوسطاء .

هناك سبل أخرى ممكنة أيضاً (ن . انتنر وم . دودوروف ، 1952) . ان دورة هوريكر ، تتدخل بشكل خاص في أواليات تمثل الكربون (تجدد دورة كالڤن) .

المرحلة الهوائية في التنفس : دورة كربس - يظهر ان تنفس النباتات العليا يعود بشكل عام إلى النظرية التي وضعها العالم الكيميائي الاحيائي الكبير الانكليزي كربس من اجل المملكة الحيوانية والمعروفة باسم دورة كربس ، أو دورة حامض السيتريك (كربس وو . آ . جونسون 1937) .

ارتكزت أعمال كربس أساساً ، ووفقاً لطريقة نيوبرغ (1911) ، على المعطلات الخصوصية من حامض مالونيك الذي يعطل المساعدة الانزيمية عند نقطة من الدورة ، وبالتالي فهو يكبح

التنفس . وبعد ذلك ، اكدت تجارب ارتكزت على تقنية النظائر بأن ذرات الكربون في حامض بيروفيك تندمج فعلاً في حوامض الدورة . وتم التعرف على العديد من الحوامض الوسيطة ، في النباتات ، حيث يتراكم البعض بكميات مهمة (حوامض ماليك ، ميتريك ، اوكزاليك) ؛ من المعروف منذ عدة سنوات ان حامض بيروفيك ، يتشكل بصورة انتقالية ، في الخمائر وفي النباتات العليا (ج . م . و و . جامس 1940) . وقد قدم البرهان الآن بأن دورة كربس تعمل في النباتات (آ . ميلرد Millerd 1951 ؛ د . و . بروموند Brummond ور . هـ . بسوريس 1953 ، الخ) . وكذلك توضح عدد كبير من الانظمة الانزيمية المشتركة (آكونيتاز ؛ ديهيدروجيناز ايزوسيتريك ، سوكسينيك ، ماليك ؛ فوماراز ؛ اوكسيداز امثال كاتيشولوكزيداز ، اسكوربيكوكسيداز ، غلوكوز - اوكسيداز) .

ويبذل اليوم علماء الفيزيولوجيا العرقية جهداً كبيراً انطلاقاً من المنظور الدقيق ، منظور دورة كربس . الا ان هذه البحوث لا تتم ضمن الاجماع ، اذ ان الاهمية الصحيحة للدور الذي لعبته هذه الدورة ما يزال مجهولاً - بدون شك الطريق الرئيسي للتنفس الهوائي - عند النباتات ؛ ان أواليات التنفس ذاتها ، في علاقاتها بالاحتفاظ بالطاقة الحرة ، تبقى مجهولة ، على الاقل لجهة طبيعتها العميقة . لا شك ان الامر يتعلق بصورة رئيسية بمزدوج هو نزع الاوكسيجين وقيام الفسفرة ، ولكن هنا يكمن فصل جديد تماماً من فصول العلم المعاصر .

الفسفرات التأكسدية - تطلق هذه العبارة على تزاوج الفسفرات مع تفاعلات تأكسدية (اعادة اكسدة $DPNH_2$ ، و $TPNH_2$ الخ . بواسطة O_2) . واذا كان لا بد من وجود 40 أو 50 تفاعلاً للتوصل الى الحد الاقصى من العملية التنفسية ، فانه في المرحلة الهوائية تُنتِجُ تقريباً كل الطاقة الحرة ، أي ما يعادل 700000 حريرة يضيع قسم منها بشكل حرارة ، ويُخزن قسم منها ليستخدم في النمو ، وفي التراكيب ، وفي الاعمال الامتصاصية ، الخ ؛ تأخذ هذه المرحلة عشر ذرات من الأوكسجين من أصل اثني عشرة ضرورية لأكسدة جزيء من الغلوكوز (وتستخدم الذرتان الاخريان في أكسدة 2 PNH_2 ، تتأتيان عن الغليكوليز). ويمكن الظن ضمن هذه الشروط ان أنظمة تراكم وتحويل الطاقة المستعملين من قبل الخلية ، يجب أن تعمل بصورة رئيسية في المرحلة الهوائية .

وتعود الاكتشافات الحاسمة حول هذه المسألة إلى أعمال هـ . م . كالكار (1930) ، وأعمال ف . آ . بليتزر وأ . ت . تسيباكوا Tsibakowa (1937-1939) واعمال س . اوشوا (1941) : هناك تزاوجات تحصل بين عمليات الفسفرة وأنظمة نقل الكترونات السلاسل التنفسية .

لقد أوضحت أعمال وربورغ ونيجيلين (1932) مبدأ الفسفرة عند مستوى الجوهر ، وبينت ان هذه تتم مع عدم وجود الهواء (حالة تركيب ATP ، متزاوجاً مع اكسدة ادلهيد فوسفو - غليسريك بواسطة DPN في الغلوكوليز) .

إن عمليات الفسفرة التأكسدية تقع بين الاساس وبين الاوكسيجين ، في السلسلة التنفسية (خاصة DPN ← فلافو بروتين ← الصبغ النووي b ← c ← a_3 ← O_2) ؛ واذن فهي هوائية . عند

مستوى ما من الـدورة (حامض الفـا (∝) ـ ستوغلوتـاريك) ، قـد يمكن أن تكـون أربـع عمليـات فسفرة ، بخلال انتقال زوج فقط من الالكترونات (أ . ك . سلاتر 1957) ، ولكنها تكون خارجاً اقل عدداً (3 – 2) . ونجهل كل شيء عن الاوالية ، ولكن نقـدر ان عشرين إلى اربعين جـزيئاً تنفّسيـاً من ATP يمكن ان تكوِّنَ احتياطياً مؤلفاً من قسم كبير من الطاقة المحدثـة في السلاسـل التنفسية (حتى حـدود 400 000 حريـرة بالنسـبة إلى جزيئين من حـامض پروفيـك) بقلب الفوسفـات المعدني ، أي انتاجاً من عيار 60 % .

وقد أمكن حديثاً موضعة عمليات الاكسدة الهوائية وخاصـة اكسدات $DPNH_2$ التي تؤدي إلى تركيب A T P في الميتوكوندريـات الحيوانيـة (آ . ل . لهننجر ، 1951) ، وكـذلك عنـد النباتـات العليا (آ . ميلّرد ، ج . بونر ، الخ . 1951 ؛ ج . ج . لاتيس ، 1953) . وقد حصل البرهان ، انّ الصبغ النووي ـ اوكسيداز لا يوجـد الا في الميتوكـوندري . في هـذه الجسيمات الخلويـة الصغيرة جداً ، يوجد مركز التنفس الهوائي .

III ـ نظرية التركيب الضوئي

ان نظرية التركيب الضوئي مدينة ـ ربما أكثر من نظرية التنفس ـ للتقنيات الكبرى المعاصرة : التعـداد العلمي بالنـظائر ، والتصـويـر الملون للتقـاسم على الـورق . وبـروز هـذه التقنيـات بشـر بمنعطف أساسي في حدود السنوات 1937-1941 . ان هذه النظرية ، مدينـة إلى حد بعيـد للمعارف المكتسبة حول التنفس . فمنذ مطلع القرن ، تم انجاز عمـل ضخم ، تدعمـه سلسلة من الاعمال بقيت جملة منها كلاسيكية ، ثم أيضاً العبقرية الصبورة أو الباهرة لامثال ويلستاتر أو وربـورغ . لقد طرحت المسـائل ، وتم استخراج تيارات الفكر .

إن العصر الجديد ، الذي أعلنت عنه الأعمال المدهشة التي قدمها ڤان نيل في البيوكيميائيـة المقـارنة (1931-1935) ، قـد صاغ أدواتـه . ان تجارب البيـوكيميائي الانكليـزي ر . هيـل (1937) وتجارب هيل ور . سكاريـبريك (1940) اثبتت تصاعـد الاوكسيجين تحت تأثيـر الضوء فـوق ذَوْبٍ من الكلوروبـلاست معـزولـة أو مجزّأة ، بحضـور قـابـل للهيـدروجين . إنّ هـذه النتـائـج ، التي رسـمت سابقاً في الاعمال القديمـة (بيجرنـك ؛ وهـ . فريـدل ، 1901 ؛ هـ . موليش ، 1925) ، تفتح احد الفروع الاكثر نشاطاً والاكثر تعقيداً في البحـوث المعاصـرة ؛ وقد أدت إلى الاكتشـافات الكبرى التي حققتها مدارس س . اوشوا ود . ي . ارنون . وبين 1939 و 1941 ، وبعد تطبيق تقنية العناصر الموسومة (^{11}C, ^{14}C, ^{18}O) توصل الاميركي س . رُوْبن وفريقه (و . ز . هاسيد ، م . د . كامن ، م . راندال ، ج . ل . هايد) إلى انجازات حاسـمة في المعرفة .

وفي سنة 1941 أيضاً، اكتشف آ . ج . پ . مارتن ور . ل . م . سِنج التصوير الملون على الـورق وبيَّنا فعـاليته التي لا مثيـل لها ، في فصـل الحوامض الامينيـة . ان هذه الـطريقة المقـرونة باستعمال ^{14}C سوف تتيح اكتشاف مستحضرات وسيطة في عملية الايض وتحديد نتائج ظهـورها .

ولأول مرة سوف توضع نظرية مرضية حقاً حول تمثل الكربون لدى النباتات ذات التركيب الضوئي [1] .

1 ـ من سنة 1900 إلى سنوات 1937-1941

مرحلتا تفاعلية التركيب الضوئي ـ في مطلع القرن اعتقِدَ التركيبُ الضوئي كظاهرة فريدة ، خاصة بالخلايا الكلوروفيلية : تمثّل CO_2 بواسطة الكلوروفيل ، بمساعدة الطاقة الضوئية وفقاً للمعادلة :

$$6\,CO_2 + 6H_2O + \text{طاقة ضوئية} = C_6\,H_{12}\,O_6 + 6O_2$$

يظهر الغاز كربونيك في الخلية ، ذائباً ، بشكل حامض كربونيك H_2CO_3 ؛ ويمكن أن يحدث فيها انتاج الدهيد فورميك ، وفقاً للفرضية القديمة التي صاغها فون باير (1870) وتصاعدO_2 :
O_2 $(H_2\,CO_3 = CH_2O + O_2)$ ، ثم تماثر بالسكر : $.6CH_2O = C_6\,H_{12}\,O_6$.

وبدا مفعول الكلوروفيل لكثير من العلماء مسؤولاً مباشرةً عن تضاؤل CO_2 . في فرضية ويلستاتّر وستول (1918) ، يطلق النور تحت O_2 وانتاج ادلهيد انطلاقاً من مستحضر تركيبي كلوروفيل $- CO_2$. وقد اعتبر التركيب الضوئي وكأنه تفاعل ضوئي كيميائي لتثبيت وتمثل CO_2 في حين لم يوافق ويلستاتر على نوع من التدخل الدياستازي الا في مرحلة التسارع النهائي .

إن هذه النظرية تدخل ضمن تيار التصورات الفيزيائية التبسيطية التي سوف يكشف المستقبل إدّعاءها : أبداً لن تتكلل محاولات إعادة تكوين التركيب الضوئي في المختبر ، بتنوير محلول الكلوروفيل ، بالنجاح ضمن الشروط التي عمل فيها ويلستاتر . لا بد من طرق دقيقة مرهفة ومعدات تجريبية خاصة . ويبقى لزوم البرهان قائماً بأن الكلوروبلاست المعزولة أو المشطورة هي التي تحدث حقاً التركيب الضوئي الحقيقي ، وهذا أمر ينازع فيه بعض المؤلفين (و . كاندلر الخ ، 1961) .

منذ 1905 ، سوف تلقي تجارب وافكار الفيزيولوجي الانكليزي ف . ف . بلاكمان حول الحركية في التركيب الضوئي والعوامل الكابحة (ضوءاً ، درجة حرارة ، معدل CO_2) ، سوف تلقي ضوءاً جديداً ، وسوف تحول الاهتمام نحو طرق المستقبل ، بتبيان وجوب التمييز بين مرحلة غامضة مرتبطة بدرجة الحرارة ومرحلة صافية واضحة أو ضوئية ـ كيميائية ، أولية ، مستقلة عن درجة الحرارة . اطلق وربورغ اسم تفاعل بلاكمان على عملية التمثل الحاصلة في الظلام . وقد اشار بلاكمان إلى أن بعض الاجسام المحرومة من الملونات او الاصباغ ، قادرة عن طريق التركيب

---

(1) رغم ان معظم النتائج المهمة الحاصلة منذ قليل قد تمت على يد علماء فيزيولوجيا وبيوكيمياء ، يتحكمون بموارد مختبرات قوية ، خاصة في الولايات المتحدة ، فان ما قدمه بعض البلدان الأقل حظاً في الغنى في هذا الشأن ليس باليسير القليل . فبفضل آ . مويز Moyse ، مدير مختبر التركيب الضوئي في جيف ـ سور ـ ايفت ، وعلماء آخرين استمرت فرنسا تحتل مركزاً في البحوث في هذا المجال ، إن أعمال ج . ولك . بوثي ، تلميذي آرنون ، حول دور ايونات الكلورور ، وأعمال أ . ب . أوبير وفريقه في مؤسّسة باستور ، حول تثبيت CO_2 ، عند البكتيريا غير التركيبية الضوء ، تسجل انطلاقة باهرة .

الكيميائي ، على تخفيض CO_2 . قدم وربورغ بنفس الاتجاه جملة معطيات مقنعة تماماً ، فقد بيّن (1919) ، الاثر المتعلق بدرجة الحرارة وبالزخم الضوئي على معدل التركيب الضوئي . وقد تم تحليل هذه الوقائع وتأكدت عن طريق التجارب الجميلة التي قام بها فيزيولوجيو باسادينا ، ر . امرسون وو . آرنولد (1932) .

وعمل هؤلاء المؤلفون بواسطة النور المتقطع ، كما فعل ت . هـ . برون وف . اسكومب منذ 1905 ، ثم وربورغ ؛ وكانت الادوات المستعملة خزازة خضراء من نوع كلورلاً (وهي مادة قدمها وربورغ) . وبعد سلسلة من المحاولات اعتبرت ذات دلالة ، توفرت الشروط الملائمة إلى أقصى حد ، للانتاج ، وذلك بواسطة تناوب البرقات القوية انما القصيرة جداً (10^{-5} من الثانية) مع فترات تعتيم طويلة نسبياً (أو 0,02 من الثانية) ضمن درجة حرارة (25°C) . ان المنتوج يمكن ان يستمر الآن ، عن طريق تخفيض درجة الحرارة ، شرط اطالة حقبة المرحلة المظلمة ؛ وهناك عوامل أخرى (سيانور) تتيح تغيير تفاعلية التعتيم .

واستنتج امرسون بأن التفاعل المظلم يستعمل حاصل التفاعلية الضوء كيميائية ، ويتطلب وقتاً معيناً ، في درجة حرارة معينة ، ليتم كاملاً ، وبالتالي لجعل الكلوروفيل متوافراً من جديد ، ولاتاحة امتصاص جديد لكميات الضوء .

فرضية التحلّل الضوئي البيوكيميائية المقارنة ـ ان نظرة ويلاند ـ تونبرغ ، ترسم هنا ـ كما في حالة التنفس ـ بداية انفتاح حاسم للبحوث . وعاد ك . ب . ڤان نيل (1929) إلى هذه الفكرة واستخدم معطيات الكيمياء الاحيائية المقارنة التي نادى بها كلوجفر ودونكر (1926) ، فطرح هوية التركيب الضوئي عند النباتات الخضراء ، والبكتيريا الكبريتية وفقاً للصيغة العامة : $CO_2 + 2H_2A \xrightarrow{\text{ضوء}} (CH_2O) + H_2O + 2A$ حيث المخفض هو في حالة ماء H_2O ، وفي حالات أخرى H_2S أو مركب عضوي .

الواقع ان هذا لم يكن الا مرحلة أولى ، رئيسية ، في فكر ڤان نيل . سنة 1941 ، وبعد النظر إلى تناقض أساسي ، هو انه في البكتيريا ـ بخلاف النباتات الخضراء ـ يشكل نزع الهيدروجين ، تفاعلية مستقلة عن الضوء ، وضع ايڤان نيل مفهوم « التحلّل الضوئي » (فوتوليز) باعتباره قاسماً مشتركاً بين التركيبات الضوئية .

ويُردُّ التركيب الضوئي إلى أكسدة إرجاع (ايحاءات تونبرغ ، 1923 ، ور . ورمسر 1930) : إرجاع CO_2 ، واكسدة الماء ؛ وفي النباتات الخضراء يعطي الماء الهيدروجين الضروري لإرجاع CO_2 ، كما يشكل مصدراً للأوكسيجين المحرر : وهو مفهوم جديد للغاية ، اذ منذ ت . دي سوسور (1804) ، كان يفترض ان الاوكسيجين المتصاعد يتأتى من تفكك CO_2 . وفي التركيب الضوئي البكتيري ، يوجد أيضاً تحلّل ضوئي للماء ، ولكن التفاعل الانزيمي لا يقتضي مساعدة الضوء ، ولكنه اذا تناول معطياً خارجياً للهيدروجين مثل (H_2S) فانه يُرجع المعطى المؤكسد (فيولد بالتالي المعطى المرجَع وهو H_2O) : ضمن هذه الشروط لا يتحرر O_2 ، وهي واقعة تميز بصورة أساسية التركيب الضوئي في البكتيريا ، وفي الاشنة ، كما تميز النباتات العليا .

إن فرضية ڤان نيل « حول التحلّل الضوئي للماء » وحول وحدة تفاعلية الكيمياء الضوئية في كل الاجسام ذات القدرة على التركيب الضوئي ، قد كان لها التأثير الاكثر حسماً حول تطور البحث في هذا المجال ، وبصورة أعم حول الفكر البيولوجي .

اكتشاف التقليص الضوئي ـ اكتشف هـ . غافرون (1940-1944) ان بعض الاشنات الخضراء (سنيدسموس) ، بعد مرحلة التلبث الحمل في الظلام ، ثم التخمر اللاهوائي تكتسب القدرة على امتصاص CO_2 في الضوء ، باستعمال H_2 وليس H_2O ، ودون أن يؤدّي ذلك إلى إطلاق O_2 . وذات الاجسام تستطيع في الظلام ، وبوجود $H_2 + O_2$ ان تقلص أو تمتص CO_2 : « عملية الامتصاص » في حالة أولى ، ثم تركيب كيميائي في حالة أخرى .

وقد دلت الأعمال اللاحقة أن « التقليص الضوئي » لا يقترن عموماً باطلاق O_2 وانه يقتصر على تركيب ضوئي بكتيري ؛ ولكن الظاهرة تبدو أكثر تعقيداً (ل . إهورويتز 1957) . وقد اكتشف غافرون دعماً قوياً جداً للمفاهيم التوحيدية ، ثم لفرضية ڤان نيل ، ولو بصورة جزئية على الاقل .

الغذاء الكربوني كأوالية كونية ـ إن المفاهيم المتعلقة بالغذاء الكربوني قد تعدلت بشكل عميق على أثر أعمال هـ . ج . وود وك . هـ . وركمان (1935-1939) حول التخمير البروبيوني (الحامضي) وأعمال د . د . وودس Woods ، هـ . أ . باركر الخ . كان من المقبول في السابق القول بوجود كائنات ذاتية التغذية تستطيع امتصاص CO_2 ، وكذلك وجود كائنات تغذوية لا تستطيع بذاتها تركيب المواد الكربونية . وبين وود ووركمان Werkman ان البكتيريا الغيرية التغذية المشهورة تستطيع تثبيت CO_2 ، ثم تحويل جسم ما من C_3 (كربون مكثف) إلى C_4 . وهذه الظاهرة قد أثبتت في أجسام معتبرة خارجية التغذية ، واكثر علواً في سلم التصنيف (نباتات عليا وحيوانات) . ويجب الافتراض ان الامر يتعلق هنا بصفة شاملة تشمل المادة الحية ، ومرتبطة بوجود تجهيز انزيمي أساسي سن الخلايا . في الكائنات ذات التغذية الخارجية ، تحرم هذه الصفة من كل وظيفة اساسية ، ولكن ، في مفهوم أوپارين (1957) ، انها تتحكم ببروز الاغصان الذاتية التغذية اثناء النمو والتطور .

هذا المفهوم الشمولي المطبق على تثبيت CO_2 له فائدة قصوى . فهو التعبير الافضل تحديداً ، عن نزعة سبق رسمها في أعمال بلاكمان وڤان نيل وهي : ان الظاهرة الاصيلة ظاهرة التركيب الضوئي تقع في المرحلة الواضحة . وبكلام آخر يدل التركيب الضوئي والغذاء الكربوني على تفاعلية متميزة (من هنا يمكن الاستطراد في القول ان قدرة التركيب الضوئي هي صفة تكتسب فيما بعد) . ان مفاهيم ويلستاتر وغيره يجب التخلي عنها . وتثبيت الكربون يجب أن يتم بالكربنة الانزيمية من عنصر مجهول وليس بفعل الضوء المباشر .

الملونات وبنيتها الكيميائية ـ في سنة 1906 كانت بداية البحوث الحديثة حول كيمياء الكلوروفيل ، بواسطة أعمال م . تسيوت الذي توصل عن طريق منهجية أصيلة تماماً تتعلق بالامتصاص الفاضلي ، إلى فصل ملونين اخضرين وخمسة كاروتينويد [ملونات جزرية] . وفي سنة 1906 أيضاً ، بعد أعمال أساسية قام بها م . ڤون نينيكي (1901) ، قام العالم الالماني الكبير ر . ولستاتر ببحوث باهرة قادته إلى اكتشاف البنية الكيميائية للكلوروفيلين « a و b » ، والى نشر ـ

بالتعاون مع أ . ستول ، الكتاب الكلاسيكي suchungen über chlorophyll (1913)[1] . ومنذ ذلك الحين تتابعت البحوث في هذا المجال الكيميائي ، بكثافة ، خاصة بفضل أعمال هـ . فيشر في ميونيخ (منذ 1929) ، وهـ . هـ . سترين (سنة 1942) ، الخ . حول بنية الكلوروفيل بأنواعه ، وأيضاً أعمال ج . ب . كونانت ، وأعمال ب. كارير (1931) ور . كوهن Kuhn (1932) حول الملونات الجزرية وأعمال ك . نواك وو . كيسلن (1930) حول التوالد الاحيائي للكلوروفيل . وقد اختتمت هذه الاعمال بنتائج مشهودة مثل التعرف على حوالى مئة نوع من الملونات الجزرية أو تركيب الكلوروفيل a [2] .

تحتوي الاوراق الخضراء عموماً على نوعين من الكلوروفيل(b, a بنسبة a/b = 2) وهذان النوعان قلما يختلفان ، كما تحتوي الاوراق الخضراء على ملونات جزرية (كزانتوفيل وكاروتين) ذات الدور ، القليل الوضوح هنا ، انما المهم في الاشنات وفي البكتيريا حيث تؤمن تحول الطاقة الضوئية إلى كلوروفيل . ومن بين القطاعات الاكثر نشاطاً في البحث المعاصر هناك قطاع تناول الدراسة الوظيفية لمختلف أنواع الكلوروفيل وغيرها من الملونات ، على الطبيعة وفي المختبر (ج . فرانك ، ك . س . فرنش ، الخ) . ويرى ل . ن . دويسانس Duysens (1952) انه يوجد نقل طاقة من الملونات الجزرية ، ومن الكولوروفيل b إلى الكلوروفيل a ، ويوسع هذا النظام طاقة الامتصاص على مختلف أطوال الموجات من أجل الاستخدام من قبل الكلوروفيل a (أو نظيره) ان مفعول الكلوروفيل b يمكن أن يربط بتفاعل ثان ضوئي (ارنون 1961) .

المردود الكمي للتركيب الضوئي ـ طبق وربورغ ونيجيلين (1922-1923) نظرية الكنتا على التركيب الضوئي ، في دراسة كلاسيكية حول مردود الارتداد الطاقوي .

إن اعمال هـ . ت . برون وف . اسكومب (1905) ، التي تناولت النباتات العليا ، قد بينت ان حوالي 1% من الضوء النازل يؤسر بواسطة التركيب الضوئي ، والباقي يستخدم في التبخير (49 %) أو يرد بشكل ضوء أو حرارة . والحساب السريع يدل على أن الأحمر (670mμ ، حزمة امتصاص رئيسية) فيه 3 كنتا من الضوء تكفي لتحليل جزيء CO_2 . ولكن كم يجب منها عملياً ؟ وتصدى وربورغ ونيجيلين للإجابة على هذا السؤال . وتجاربهما ، الرائعة والموسومة بجدة التقنيات ، وجدة الموضوع ، ثم بالعناية التي أضيفت على تحضيرها ، اعتبرت معلماً . يرى وربورغ أنّ أربعة كنتا تكفي ، في حالة « الكلوريلا » لتحويل جزيء من CO_2 ، مما يمثل مردوداً عالياً جداً (70 %) . وقد انتقد ر . أمرسون وك . م . لويس (1939-1941) هذه التجارب فهما يريان ان عدد الكنتا الأدنى يتراوح من 8 إلى 12 (وأن المردود هو 23-34%) . وأيّدت غالبية الاعمال الحديثة اتجاه نتائج أمرسون ، الا انه لم يقم أي دليل حاسم فيحوز الاجماع . وهنا أيضاً فتح وربورغ فصلاً في العلم .

(1) الكلوروفيل هو مركب ماغنيزي له أربع نوى بيرول (أي بورفيرين) ، وترتبط ذرّة المغنيزيوم بأربع ذرات آزوتية ذات نوى بيرول ؛ وفي الهموغلوبين يحلّ الحديد محل المغنيزيوم .

(2) راجع أيضاً الفقرة VII ، الفصل XI من القسم الثاني .

2 ـ من 1937 إلى 1960

طرق البحث الجديدة ـ ان أولى نجاحات هيل فيما يتعلق بعمل الكلوروبلاست المعزولة ، تقع بين 1937 و 1939 ؛ وهذه النجاحات تعود إلى الحصول اصطناعياً على افراز الاوكسجين O_2 في الضوء ، في حضور قابل هيدروجين (غير CO_2) .

وتفاعل هيل يبين استقلالية تفاعلية المرحلة الواضحة (الضوئية) ؛ وهذا التفاعل يدعم في مطلق الأحوال وبجدية تامة فرضية التحلّل الضوئي للماء ، كما يتميز بأنه فتح الفصل المدهش ، فصل البحث حول جسيمات خلوية خارج الخلية . وفي سنة 1940 نشر ج . أ . كوش وهـ . روسكا الصور الاولى للكلوروبلاست بواسطة المجهر الالكتروني .

في سنة 1941 قدمت أعمال البيوكيميائيين الاميركيين روبن ، ورندال ، وكامن وهيد برهاناً اعتبر شبه حاسم لصالح تحليل الماء الضوئي .

وقام هؤلاء العلماء بالعمل على كلوريلا فوسموا بـ O^{18} الماء الموضوع في تصرف النبتة في حالة التركيب الضوئي : وعثر على العنصر الموسوم وفقاً للنسبة الاساسية في الاوكسيجين المتصاعد . وفي تجارب رقابية اتبع نفس الوسم المحقق فوق CO_2 بتصاعد اوكسيجين عادي . وفي ذات السنة توصل السوفيتيان أ . ب . ڤينوغرادوف ور . ڤ . تيس ، بعد استخدام نفس التقنية ، إلى نفس النتيجة : وعندها امكن اعتبار الاوكسيجين المحرر في التركيب الضوئي في الاشنات وفي النباتات الخضراء متأتياً من تفكك الماء : وهو أمر لم يوضع بعدها موضع التساؤل .

وفي سنة 1948 ، كان التفاعل الغامض بدوره موضوع استقصاءات رئيسية : فقد توصل بيوكيميائيون اميركان : كالڤن ، بانسون وغيرهما إلى التعرف على « حامض ـ 3 ـ فوسفوغليسريك » باعتباره أول ناتج ثابت مكون بفعل تثبيت CO_2 . ومنذ ذلك الحين شوهدت حركة تطور في البحوث المدهشة .

تجدد مفهوم التركيب الضوئي : د . أ . ارنون Arnon ومدرسته ـ في سنة 1954 بيَّن بواشنكو وڤ . أ . بارانوڤ والاميركيون ارنون ، م . ب . ألن وت . فـ . و . واتلي من جامعة بركلي ، على غير انتظار ، وفي ظروف خاصة ان الكلوروبلاست المعزولة قادرة على تثبيت CO_2 : ولاول مرة نجحت عملية التركيب الضوئي الكاملة خارج الخلية ؛ وبمعزل عن التنفس لأن الكلوروبلاست لا تتنفّس (ارنون ، 1955) . وهكذا تم الحصول على صنع الاميدون (النشاء) انطلاقاً من CO_2 و H_2O .

وهكذا اكتمل اختراع تقنية هيل : فهي أكثر « من تفاعل كلوروبلاست » ، مفهوم تضييقي لهيل نفسه ، لقد كانت التركيب الضوئي بالذات : مرحلة ضوئية ومرحلة ظلامية ، وفيها لم يكن للنواة البلاسمية أي دور .

وهذه النتائج قلبت المفاهيم السائدة القائلة بأن التركيب الضوئي كان مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالبنية الخلوية . ومنذ 1958 تم التوصل إلى تجزئة الكلوروبلاست ثم إلى فصل المرحلتين فصلاً

مادياً (أ . ڤ . تربست ، الخ) . وفي زمن أول عملت الكلوروبلاست المعزولة والكاملة بدون اضاءة وبغياب CO_2 . وفي زمن ثان انتزعت الاقسام الخضراء (غرانوم) ، واستمرت العملية في الظلام مع وجود CO_2 : وقد عنيت التفاعلية بالستروما وحدها (أي بالقسم غير الاخضر) فأدت إلى صنع السكر . وكانت النتيجة ذاتها كما لو ان العملية قد استمرت ؛ وبدت الستروما متدخلة في المرحلة الضوئية (ارنون ، 1957) .

ولكن اعمال ارنون وآخرون ادت إلى مفهوم للتركيب الضوئي متجدد بعمق ، فالتركيب الضوئي لم يكن أساساً تفاعلية تمثل CO_2 ، فبدا وكأنه مكتمل قبل مرحلة التعتيم أو الظلام . فما هو اذاً التركيب الضوئي ؟

منذ 1943 ارتأى روبين بنوع من الالهام فرضية الفسفرة المتزاوجة مع تفاعلات ضوئية كيميائية والمتحكّمة بتحليل CO_2 ؛ في حين تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة بشكل PNH_2 (DPN أو TPN) و ATP . وبعد ذلك جاءت تجارب تدعم هذه النظرية ؛ وأصبح واضحاً فضلاً عن ذلك ان ATP يلعب دوراً أساسياً في تفاعلات المرحلة المظلمة .

وقد أشرنا إلى مفهوم الفسفرة المقرونة بالاكسدة في السلاسل التنفسية : تأتي الطاقة الحاصلة بشكل ATP في اكسدة $DPNH_2$ ، في الميتوكوندري ، وهو موضع التنفس الهوائي . وقرر . و . فيشنياك وس . أوشوا (1951-1952) انه بفضل إضاءة محلول كلوروبلاست معزولة يتم الحصول على تخفيض ، في نظرهما ، من نمط تخفيض هيل ، ولكن الـ PN فيها يمثل قابل الهيدروجين : $2PN + 2H_2O \rightarrow 2PNH_2 + O_2 \nearrow$.

وقام الباحثون أنفسهم بادخال الميتوكوندري لاعمالها مع وجود O_2 ، فتوصلوا بالتجربة إلى انتاج ATP : انها فسفرة تأكسدية . وإذاً يوجد تفاعليتان معروفتان من اجل خفض الفوسفور بيريدين النووي (نوكليوتيد) : الاولى ضوئية كيميائية والاخرى تدخل اثناء الاكسدة التنفسية (عند مستوى الجوهر) عن طريق نزع الهيدروجين .

وبعد اكتشاف فيشنياك وأوشوا ساد الاعتقاد بأن تركيب ATP في الميتوكوندريا ينتج عن تزاوج مع إعادة أكسدة ميتوكوندرية لـ PNH_2 (مع وجود O_2) : وهذه الأكسدة ـ الإرجاع والفسفرة تقتضيان تعاون الكلوروبلاست والميتوكوندري .

ودور الضوء في التركيب الضوئي بدا واضحاً . ولكن بعض الصعوبات سوف تعود وتطلق البحوث ، وخاصة ان الميتوكوندري تكون قليلة العدد في الخلايا الكلوروفيلية .

في سنة 1954 بيّن ارنون وفريقه ، بعد استعمال الكلوروبلاست المعزولة ، وجود فسفرة تركيب ضوئية : وكان هذا اكتشافاً عظيماً جداً . فالطاقة الضوئية قد تحولت مباشرة الى طاقة كامنة تستخدم مباشرة بشكل ATP وفي داخل الكلوروبلاست بالذات ، دون معاونة من الميتوكوندري ، انطلاقاً من فوسفات معدني ومن ADP . وهذا يشكل ظاهرة مختلفة تماماً عن الفسفرة التأكسدية التي قال بها ڤيشنياك وأوشوا . وفي نفس السنة رصد أ . و . فرنكل نفس التفاعلية في البكتيريا ذات

التركيب الضوئي . واذاً فهناك اوالية عامة مشتركة بين كل الاجسام ذات التركيب الضوئي .

وفي محاولة فهم مسار هذه الفسفرة ، اكثر أرنون من الرجوع الى المعارف المكتسبة حول التنفس . وبعد ان حاول ان يوفق بين فرضية ڤان نيل حول « تحلّل » الماء الضوئي وبين الوقائع الجديدة ، اقترح أخيراً رسيمة اصيلة مرتكزة على نقل الكترونات نقلاً يشبه الفسفرات التأكسدية : الى درجة ان معطي الالكترونات ومتلقيها هما هنا شيء واحد بالذات هو الكلوروفيل . من هنا اسم الفسفرة الضوئية الدورية الذي اعطي للعملية . ان كل جزيء من الكلوروفيل المنشط بكمية من الضوء ، يطلق الكتروناً ، ويأخذ حالة أكسدة قابلٍ الالكترونات . والالكترون المطرود المرفوع الى مستوى عالٍ من الطاقة ، يمر بسلسلة من الناقلات ثم يقلص من جديد الكلوروفيل . وتندمج او تتزاوج عملية فسفرة ADP في هذه الحلقة .

واعتقد أرنون ان هذه الفسفرة الدورية البدائية ظاهراً ، البادية في كل الاجسام ذات التركيب الضوئي ، يجب ان تكون القاسم المشترك ، ولكن اعمالاً حديثة (أرنون ، 1961) دلت في البكتيريا ايضاً على وجود اواليات فسفرة ضوئية غير دورية تشبه اواليات الكلوروبلاست . من هذا النمط من التفاعلات ، ينتج في النباتات الخضراء المحصول المزدوج PNH_2 و ATP .

في هذه الحالة يتفكك الماء الى ايونات H^+ و OH^- ويصبح مصدر تحرير O_2 ومصدر انتاج بروتونات والكترونات ضرورية لتشكل ATP و $TPNH_2$. وتستخدم الالكترونات المطرودة من قبل كلوروفيل الكلوروبلاست ، بعد ان تكون ، في كل مرة ، كما في الحالة السابقة ، قد امتصت فوتوناً ، مستعملة مع البروتونات (H^+) في عملية خفض TPN : وهذا النظام ليس دورياً .

والاعمال الاكثر جدة (م . لوسادا ، ف . ر . واتلي وأرنون ، 1961) دلت على ان الطاقة اللازمة من اجل اكسدة الماء (خسارة الكترون) في عملية التركيب الضوئي ، تنتج عن تأثير الضوء ، انه تفاعل ثان ضوئي أو ضوئي مؤكسد يتيح للكلوروبلاست ان تستخدم الماء كمقدم للالكترونات (وهذا محظور على البكتيريا) .

وقد استطاع المؤلفون انفسهم ان يبينوا انه في الكلوروبلاست ، حيث تعطل اكسدة الماء بالضوء ، تعطلاً اصطناعياً ، وفي حالة وجود معطٍ اخر للالكترونات ، يوجد تخفيض في TPN ، كما يوجد فسفرة ضوئية دون تصاعد O_2 : هذا هو النمط البكتيري في عملية الفسفرة الضوئية . فالبكتيريا ذات التركيب الضوئي تستخدم ، في هذا الشأن مقدمات الكترونية غير الماء وبالتالي تخفض PN ، ولكنها تستطيع ايضاً تثبيت H^+ أو N_2 ، بفضل تجهيز انزيمي خاص ؛ وبحسب ما هو مقدم الالكترونات ، فانها اي البكتيريا تحتاج أو لا تحتاج الى طاقة ضوئية .

وفي مجال التركيب الضوئي ، تقدم كل سنة جردتها من الاكتشافات الكبرى ، ويمكن التنبوء بان المستقبل القريب سوف يدفع بمعارفنا الى الأمام بشكل انجازات حاسمة . من المسلم به الفكرة الكبيرة القائلة بان التركيب الضوئي يعني اساساً فسفرة ضوئية ، اي التقاط الطاقة الضوئية بشكل ATP (مباشرة او مداورة بفعل تخفيض الـ PN) .

تثبيت وتخفيض CO_2 . دورة تخفيض الكربون او دورة كالڤن . ان صياغة نظرية حول

التفاعلات الحرارية الكيميائية في التركيب الضوئي ـ وهي محاولة تكررت كثيراً بدون جدوى في الماضي ـ ترتكز الان ، وبعد حوالى عشر سنين من البحوث المكثفة ، على عدد كبير من المعطيات ، أو ـ في حال عدم وجودها ـ على احتمالات قوية . هذه النهضة المفاجئة والمتأخرة في قطاع من البحوث معقد بشكل خاص ، تجد تفسيرها في تضافر عوامل متنوعة : تقدم حاصل في معرفة بعض الوظائف ، وتجدد التقنيات وايضاً بروز علماء من الطراز العالي ، امثال علماء فريق بركلي : ج . أ . بسّام ، أ . أ . بنسون الخ ، مجتمعين حول م . كالفن . والمعارف المكتسبة في دراسة الايض الوسيط ، والتخمرات والتنفس ، كان لها التأثير الاكبر ، وخاصة استعمال تقنيات عزل الانزيمات (أ . راكر ، 1955) . والمنتوجات الوسيطة المتأتية من عملية الغلوكوليز ، والمنتوجات المتأتية من دورة پانتوز [غلوسيد غير قابل للهدرجة] ، تتواجد في الإرجاع الحراري الكيميائي للكربون ؛ ودورة كربس المولدة للـ CO_2 ، تساهم ايضاً في تركيب الحوامض الامينية وغيرها من المركبات . الواقع ان التنفس بمعناه الواسع ، والمرحلة الغامضة في عملية التركيب الضوئي يظهران كوظيفتين كبيرتين متداخلتين ومتكاملتين الى حدٍ ما ، ولهما جذوع مشتركة وتستخدمان نفس الانظمة الانزيمية . هذا الفصل من فصول تمثل الكربون المعروف ، منذ وود وروركمان ، بانه ليس مقصوراً على الخلايا التركيبية الضوئية ، يجب ان يدخل حكماً في الاطار العام ، اطار الايض الخلوي وفي علم الانزيمات .

لقد مارس كالفن ومدرسته ، وبنجاح كبير التقنيات الايزوتوبية والتصويرية الضوئية . واستخدموا ^{14}C فاستطاعوا تتبع مسار هذه التقنيات وسرعتها . ان تجارب هـ . غافرون ومجموعته (1947) وخاصة تجارب كالفن ومجموعته (1947-1950) قد دلت على انه ، اذا اوقفنا عملية التركيب الضوئي ، بعد تعرض لعدة ثوانٍ الى $^{14}CO_2$ ، في الظلام ، نعثر على منتوجات مختلفة كربونية ، (ومن بقاياها اثار حوامض أمينية) ، منها مستحضر واحد بكمية كبيرة ، هو اسيد ـ 3 ـ فوسفوغليسريك أو APG ، وهو جسم من C_3 . ودراسة هذا المركب اثبتت من جهة أخرى غنى الكاربوكسيل بالنشاط المشع ، مما ادى الى الاستنتاج بان APG يتولد عن طريق الكربنة اي تثبيت CO_2 الممصوص بواسطة قابل من C_2 . وهكذا تدحض فرضية أ . فون باير (1870) القائلة بان المنتوجات الاولى لتخفيض CO_2 تكون اوكسيد الكربون والفورمول . وقدمت توضيحات حول « المرحلة الكربونية » (ج . ل . كايلي ، ر . ك . فولر ، بنسون وكالفن ، 1954) . ففي سنة 1951 تعرف بنسون على پانتوز هو الريبولوز الفوسفاتي المثنوي (ديفوسفات) وعلى هبتيلوز بين الاجسام الموسومة المعلمة : الواقع ان الريبولوز ديفوسفات المنبثق عن الريبولوز الوحيد الفوسفات (مونوفوسفات) بمساعدة ATP ، يشكل قابل CO_2 (مجموعات كايلي ، أ . وسباش ، أ . كورنبرغ ، 1952-1956) . ان الريبولوز ديفوسفات بعد ان يتكربن ينكسر فيعطي APG وهو اول جسم تركيبي : وهكذا لا يكون لقابل C_2 وجودٌ مستقل . وننتقل من الـ APG ، بالتخفيض وبمساعدة ATP و $TPNH_2$ ، الى السكر المفسفر ، وهو ثلاثي (تريوز) فوسفاتي ، ثم هكسوس (سداسي) فوسفاتي (ومن هنا نتجه الى سكاروز والسكريات المتعددة) ، وهذه هي « مرحلة التخفيض » . واخيراً نعود من الهكسوس الى الريبولوز الوحيد الفوسفات بواسطة عدة پنتوز او

هيتيلوز ، وتعود الدورة الى التوالد (المرحلة التوليدية عند أرنون) .

كل هذه المراحل في هذه الدورة تقتضي عدداً مساوياً من الانزيمات ويمكن ان تكون اصلاً لتحويرات واشتقاقات باتجاه التركيبات المتنوعة . تلك هي الرسيمة الحالية الاكثر شيوعاً وقبولاً ، حول تفاعلات المرحلة المظلمة في التركيب الضوئي . ونرى ان تفاعل بلاكمان هو في الواقع جملة من الاواليات المعقدة لا يمكن ان نختصرها بصيغة وحيدة .

IV ـ لمحات عامّة حول بعض المسائل

التغذية المعدنية ـ في بداية هذا القرن كان هناك 7 اجسام بسيطة ـ اذا استثنينا عناصر اساسية : مثل الكربون والهيدروجين والاوكسيجين ـ بدت اساسية في تغذية النباتات العليا هي : الازوت والكبريت والفوسفور والبوتاسوم والكالسيوم والمغنيزيوم ، ثم بكميات صغيرة جداً الحديد . ودلت البحوث العصرية ، على اثر اعمال ج . برتران وم . جافيليه (1897-1912) واعمال ب . مازيه Masé (1914) ، على انه الى جانب العناصر الكبرى ، تلعب عناصر اخرى دوراً اساسياً انما بكميات متناهية القلة ؛ انها العناصر الميكروسكوبية أو الضرورية وبها يلحق الحديد .

ان الحاجة المطلقة إلى ستة عناصر ضرورية قد حسمت نهائياً بخلال أعمال لاحقة لسنة 1920 : هذه العناصر هي : المنغنيز (ج . مك هارغ ، 1922) ، ألبور (ك . ورنغتون ، 1923) ، الزنك (أ . ل . سومنر وك . ب . ليبمان ، 1926) النحاس (ليبمان وج . ماكيني ، سومنر ، 1931) ، موليبدين (أرنون وپ . ر . ستوت، 1939) الكلور (هـ . دي جاجر ، 1933 ، وربورغ Warburg ، بوفيه Bové) . ان الحاجة الى بعض العناصر الاخرى مثل الكوبالت والفاناديوم ، لم تثبت حتى الوقت الحاضر . هذه النتائج ذات الاهمية القصوى لم تحصل الا على اثر العديد من الاعمال وعلى اثر تحسين ضخم في تقنيات الزراعات التركيبية : واتخذت تدابير احترازية دقيقة وقياسات استثنائية بشأن التطهير والتعقيم من اجل اكتشاف دور عنصر متناهي الصغر مثل الموليبدين الذي له تأثير بتركيز مقداره 10^{-9} من الغرام في السنتيمتر المكعب .

ان الدراسات حول التغذية المعدنية قد استفادت من طرق زراعة الاعضاء (پ . ر . وايت ، وزوينس ، 1922-1923) والانسجة (ر . هلّر ، 1953) . والدراسة المنهجية للمحاليل الغذائية المتوازية ، فيما يتعلق بتركيزاتها الايونية (NO_3^-, Ca^{++}, K^+ الخ) ادت الى صنع سوائل تركيبية كانت تطبيقاتها النظرية والعملية عديدة (الزراعة البحرية الصناعية ، و . ف . جيريكي Gericke ,1936) ، (و . توتنغهام وج . و . شيف ، 1914 ؛ ك . هامنر ؛ د . ر . هوغلاند) .

ان افتقار التربة الى بعض العناصر المعدنية الضرورية تنعكس على النبات من خلال مؤشرات ملحوظة ترى بالعين المجردة (كلوروز ، جفاف . . .) ، ولكن هناك نقصاً لا يمكن اكتشافه بيقين . ان الطريقة العبقرية القائمة على التشخيص الورقي والتي تمكن عن طريق تحليل الورقة من تكوين فكرة دقيقة عن نقص هذا الجسم او ذاك (فوسفور ، أزوت ، بوتاسيوم) تلاقي قبولاً حسناً في الزراعة .

ان الفوسفور ، والكبريت والمغنيزيوم والكالسيوم هي ، بصورة رئيسية ، عناصر بنيوية في الخلية . فالفوسفور هو مكوّن للحوامض النووية ، وللفوسفوليبيد ، وللمركبات الفوسفاتية الاساسية في عمليات تحويل الطاقة . والكبريت موجود في بعض الحوامض الامينية ، وفي الغلوتاثيون ، والكالسيوم في مواد الاغشية ، والمغنيزيوم في الكلوروفيل (وله ايضاً دور انزيمي) . ونجهل دور بعض العناصر ، وتدخل عناصر اخرى كالحديد والنحاس والمانغنيز ، والموليبدين أو الزنك ، وربما البوتاسيوم ، في تركيب الانزيمات . ويتدخل ايون الكلورور في عمليات الفسفرة بخلال عمليات التركيب الضوئي .

والمسألة الاكثر تعقيداً ، حول تسرّبية اغشية البلاسما النووية ، فتحت المجال أمام بحوث متعددة وامام مجادلات اقترنت منذ بداية القرن باسماء أ . اوفرتون ، وهـ .روهلانـد ووهـ . فيتنغ ، الخ .

وسنداً الى ر . كولآنـدر (1921-1933) تتسرب المواد العضوية (غليسرول ، بولة ، سكاروز) بسرعة تناسب مع درجة الذوبانية الدهنية فيها ، وتتناسب عكساً مع حجم الجزيئات ؛ يتضمن الغشاء مسام ذات احجام غير متساوية .والمعطيات الحديثة ، خاصة تلك التي تقدمها الدراسة بواسطة المجهر الالكتروني ، تنبىءُ بتعميق لمعارفنا حول هذه الظاهرة الانتشارية .

وفيما يتعلق بالمواد الايونية ، تلعب البلاسما النووية دوراً ناشطاً ، بالترابط مع التنفس ، وهذه الوقائع ثبتت منذ 1936 (هـ . لوندغارد ، ف . ك . ستوارد ود . ر . هوغلاند) . اضافة الى ذلك ، يكون امتصاص الايونات انتقائياً (اوسترهوت ، 1922 ؛ كولانـدر 1941 ، الخ) . في سنة 1906 بيّن اوسترهوت ان التسربية تتعلق ايضاً بالتوازن الايوني في الوسط ، وهذا التوازن ينتج عن التضاد بين ايونات امثال K^+ أو Na^+ تجاه الايون Ca^{++}. ان هذا المفهوم مهم : فالايونان Na^+ أو K^+ ، وحدهما ، يزيدان التسربية الخلوية لدرجة تجعلهما يعتبران كسموم ؛ اما الايون Ca^{++} فهو نوع من مضادات التسمم .

ان الامر الذي بينه العلم الحديث قبل كل شيء ، وعمّقه ، هو ان التربة ، في علاقاتها المباشرة مع النبتة ، ليست بالنسبة الى هذه الا اصلاً أو جوهراً يزودها بالاوكسيجين ، والماء والاملاح المعدنية ، وان ليس لخصائصها الفيزيائية والبيولوجية الا دور غير مباشر . كما ان العلم الحديث ، من جهة اخرى قد تعمق الى حد بعيد بتحليل الغذاء المعدني ، واوالياته ، التي ظهر دورها الناشط ، دون انكار ، مع ذلك ، او اهمال للمظاهر الفيزيائية (مثل الامتصاص ، الخ) .

اقتصاد الماء . تغيير المكان ـ ان اقتصاد الماء في النباتات العليا مرتبط بشكل خاص (نظرية التماسك ، 1895) بظاهرة التعرق ، التي برزت تعقيداتها بفضل البحوث الحديثة .

والواقع ان تقدماً جدياً ما يزال ينتظر التحقيق من اجل فهم اوالية التعرق على مستوى الستومات . ان الدور الاولي للضوء في عملية التعرق ، قد ثبت منذ 1916 على يد الفيزيولوجيين الاميركيين ، ل . ي . بريغس وهـ ل . شانتز ، وهو يدل ان الامر هنا ليس مجرد ظاهرة بسيطة

تيخرية . اذ يعتقد ان فتح المسام ينتج عن تزايد الضغط الامتصاصي في الخلايا الامتصاصية في علاقاتها مع التركيب الضوئي داخل كل الميزوفيل (ر . ج . ويجنس Wiggans 1921, ؛ ج . د ساير Sayre 1925, ؛ هيث Heathe 1948,) ؛ وانخفاض معيار CO_2 في الغرفة تحت ـ الستوماتية ، يطلق الفتح .

والتصور الحديث لنقل الموضع ، أو تحول المواد المصنعة نوعاً ما في النبتة ، ما يزال بعيداً عن حالة الارضاء . ان الاحجية المطروحة حول عمل أنابيب اللحاء لم تحلل تماماً . وقد قدم أ . مونش (1930) وآ . س كرافتس نظرية امتصاصية ، ولكن مؤلفين آخرين يتكلمون عن الانتشار وعن تيارات بلاسمية نواتية (و . ف . كورتيس ، 1935-1950) . ويمكن الظن، عن تعقل، ان المفاهيم الثلاثة تتكامل .

والى الجذور والاثمار يخصص القسم الاعظم من المترجات المصنعة في الاوراق ؛ ويتتابع التصنيع في الخلايا غير الكلورفيلية ، كما بيَّن ذلك هـ . كولن منذ 1916 .

وأتاحت تجارب بواسطة النظائر المشعة الحصول على عدد كبير من المعلومات حول معنى وسرعة التنقلات . والسكاروز الذي يمثل معظم المنتوجات المصنعة في الاوراق عن طريق التركيب الضوئي ، ينتقل من الاوراق نحو الاعلى ونحو الاسفل في النبتة ، عبر الانسجة الحية ، والانابيب المثقبة من اللحاء (د . بيدُولف ، 1939-1953) . وتجتاز المواد المصنعة دورة من الورقة الى الجذر ومن الجذر الى القمة (آ . ل . كورسانوف) . وبعض الاجسام (الفوسفور والكبريت) تتمتع بحركية اكبر من اجسام اخرى (الكالسيوم) . ويبدو ان النيترات يمكن ان تتحول تماماً أو جزئياً ، في الجذور ، وان الحوامض الامينية تسلك سبيل الاوعية الخشبية (أ . ج . بيلأرد ، 1957) .

واكدت الاعمال الحديثة النظرات القديمة حول دور الاوعية والقصبات في الخشب : فالنسغ الخام المثقل بالاملاح المعدنية والمستحضرات الازوتية يرتفع فيها بسرعة ، ولكن هناك دورة عَرْضية باتجاه اللحاء والبراعم (پ . ر . ستوت وهوغلاند ، 1939) .

التغذية الازوتية ـ حول هذه المسألة المعقدة جداً والاساسية جداً اذ بها يتعلق تخليق الأقسام الاساسية في الخلية تظهر ابحاث لا حصر نها كل سنة . ان التقدم البطيء ، هو من نطاق البيوكيمياء وعلم الانزيمات . وما ندين به تجاه هذا العلم بشكل خاص ، هو تصور جديد وعام لطبيعة البروتينات ، ودورها وتجددها . منذ البحوث الكلاسيكية التي قام بها أ . فيشر (1902-1907) وت . ب . اوسبورن (1909) ، تمّ اجتياز درب طويل في معرفة الحوامض الامينية ، خاصة بفضل اعمال آ . ج . پ . مارتن ور . ل . م . سنج (Synge 1945,) التي ادت الى الاستعمال الشائع للطرق الميكروسكوبية ذات الاهمية القصوى .

هناك أربع مراتب من الوقائع يجب ذكرها من بين الاكثر اهمية :

1 ـ ان التقدم الحاصل في التوبوكيمياء (اي كيمياء المواقع) ، وخاصة اعمال ج . براشيه

ور . جينر (1944) قدّم البرهان ، المثبّت فيما بعد ، على دور الميكروزومات ، وهي عناصر في البروتوبلاسما غنية بحوامض ريبونووية ، في تخليق البروتينات البروتوبلاسمية ، تخليق يكون تحت سيطرة النواة بصورة غير مباشرة . وتبين من جهة اخرى (و . ك . شينـدر Schneider, 1956) ان الكثير من الانزيمات يتموضع في الميتوكوندريا .

2 ـ بينت اعمال ر . شونهيمر Schoenheimer وغيره (1940) ان البروتينات النسيجية هي في حالة تموج وتجدد دائم : اذ يوجد دون توقف ، في كلّ الخلايا ، تدمير ، واستنفار واعادة تركيب وتخليق للبروتينات .

والاوراق المبتورة لا تستطيع المحافظة على التوازن البروتيني ؛ وقسم كبير من النيترات يتحول داخل الجذور : وهذه الوقائع تبدو وكأنها تقتضي وجود حامض اميني مستحدث في الجذر وضروري لتخليق البروتينات الورقية .

3 ـ اعمال الاميركي و . م . ستانلي (1935) الذي نجح في عزل فيروس ـ بروتين فسيفساء التبغ ، بحالة تبلر (سنداً لاعمال حديثة (1955) ، لم يتبين ان الفيروس مكون بكامله من بروتينات نووية) .

وقد تم اجتياز خطوة كبيرة في علم الفيروسات (فيرولوجيا) سنة 1955 عندما نجح هـ . فرنكل ـ كونرا ور . ك . وليامز في فصل حوامض نووية ومركبات بروتينية من الفيروس ثم اعادا هذا الفيروس الى حالة نشاط بيولوجي .

4 ـ التقدم الحاصل في معرفة تفاعليات تثبيت الامونياك وادخاله في المركبات العضوية (ف . كنوپ وهـ . اوسترلن Oesterlin, 1936 ؛ آ . أ . برونشتين Braunstein, 1937 ؛ آ . ك . شيبنال Chibnall, 1939) .

واحدى الوسائل الاكثر استعمالاً في النبتة هو تخليق حامض غلوتاميك انطلاقاً من حامض محروم من الآزوت (حامض سيتو غلوتاريك المصنوع اثناء التنفس) بمساعدة انزيم (ديزيدروجيناز غلوتاميك) يستعين بـ DPN كمساعد انزيمي . وتؤدي عملية نقل الأمين فيما بعد الى توليد حامض اسبارتيك وحوامض آمينية اخرى . ولكن اوالية التثبيت البيولوجي للأزوت الجزيئي الموجود في الفضاء ما تزال مجهولة بشكل واسع رغم الاعمال الجميلة التي قام بها الاميركي پ . و . ولسن باستخدام ^{15}N .

نذكر حالة التثبيت الضوئي في البكتيريا المولدة للضوء وفقاً لنظرية ارنون ، وبالتالي انتاج NH_3 . اما عقد القطانيات فتحتوي على صبغ أو ملون هو الهيموغلوبين (هـ . كوبو ، 1937)الذي نجهل علاقته مع تثبيت الازوت الجزيئي . فضلاً عن ذلك اثبتت اعمال مختلفة ، حول النباتات العليا (وخاصة في الشبّ) ، ظاهرة التثبيت التحالفي التكافلي ، وهناك احتمال ـ خلافاً للافكار القديمة ـ بان هذه الظاهرة عامة جداً وبالتالي مهمة جداً .

الفصل الثـامن

علم النبات

I ـ المورفولوجيا العامة أو علم التشكل

تكون النباتات الوعائية ـ ابتداء من سنة 1880 اعطى تلميذ هوفمستر وج . مـاكس Sachs ، ك . أ . ر . فون غوبل Von Gobel دفعة قوية للمورفولـوجيا النبـاتية ، ولعلم الاعضـاء (اورغانـو غـرافيا در فـلانزن ، 1898 ، طبعـة ثالثـة ، 1928) . لقد تمسـك غوبـل بـالـطريقـة المـوضـوعيـة والتجريبية ، وركز على نشوء الفرد ، وعلى العلاقة بين الشكل والوظيفة ؛ وكان في اساس الفكرة العلمية الحديثة حول النباتات ، وكان هذا العصر هو الحقبة حيث ازدهرت في اميركا مدرسة أ . ك . جيفري ، وفي فرنسا مدرسة ف . ثان تايغم Van Tieghem ، وحيث ولدت في بلجيكا مدرسة أ . غرافيس Gravis . لا شك ان ثان تايغم ينتمي إلى القرن التاسع عشر اكثر من انتمائه الى القرن العشرين ولكن تأثيره لم ينفك يبرز . وبنظريته حول الأنبوب (ستيل) (وهو قصبة مركزية في محور نباتي مثل الغصن أو الجذر محدود بالغشاء الخارجي أو اللحاء (بريسيكل)) ، هذه النظرية التي طورها جيفري الذي قدم فرضية مفيدة حول التطور التيبولوجي [علم النماذج الشخصية] في الطبقة اللحائية ، فقد اثار ڤان تايغم حركة خصبة جداً . فهو يرى ان النبتة الوعائية تتألف من ثلاث فئات من الاعضاء هي الجذر الجذع والورقة ، والستيل في حالة تناظر اشعاعي ، والورقة متناظرة بالنسبة الى سطح . والاعضاء التناسلية ليست الا اجزاء نباتية متحولة . وهذه النظرية التي تعبر عن اهتمام بالغ الوضوح ، بدت فيما بعد جامدة يابسة جداً . فضلاً عن ذلك لم تكن المعارف حول علم الاجنة في ذلك العصر لتبيح ، الا قليلاً ، استخدام بنية وعمل الانسجة الانشائية استخداماً نافعاً .

ان الفرضيات الكثيرة الموضوعة من اجل توضيح تكوين النباتات الوعائية يمكن ان توزع الى عدة تيارات . فالبعض يرى ان الانبات الورقي في باديات الزهر هو بنية تركيبية .

وقد دعم غوته Goethe ثم غوديشو Gaudichaud (1841) وشيلاكوفسكي Celakovsky ، 1901 هذه الفكرة . يرى غوديشو ان القطع أو الفيتون ،ورقة وقسم من الجذع ، هي التي تشكل الانبات . وكـذلك تشكـل النبتة بـرأي ج . شوفـود (1911) مستعمرة من الافـراد الاوليـة أو فيلّوريـز . وهنـاك باحثون آخرون يزعمون ان القسم المحوري ينتج عن ظـاهرة ثـانويـة هي ذوبان الـركائـز الورقيـة .

ويتعارض مع هـذا المفهوم الـذي قال بـه دلبينو سنـة 1883 ود . هـ . كامبـل Campbell مفهوم أ . لينييـه المسمى « الميرفيت » وهـو مفهوم يتصـل تمـامـاً بمفهـوم الجـذع المحيط (هـ . بـوتـونييـه Potonié) .

الجذع هو محـور عامـودي ، انه نـظام من المحاور المكبـرة من ما اخـذت من المريفيت أو اجزاء الجذع [وهي محاور جانبية مخصصة لتكون أوراقاً] ؛ على هذا يرتكز المتمسكون بالنظريـة الـورقية ومفـادها ان الـورقة ليست الا نتيجـة تـطور معمق جـداً اصـاب الجـذع الاسـاسي فقصـره واختصره . وترتبط اعمال باور Bower (1908 - 1935) بهذا التيار ، حول النباتات الوعـائية الاوليـة ، وكذلك اعمال أ . ج . تانسلي Tansley (1907) وأعمال و . زيمرمان (1930) ، الذي وضع نظرية « تيلوم تيوري » .

وقد استعان المؤلفون العصريون كثيراً بنظرية التيلوم ، ولكن افكار ج . شوفو قد دعمت بقوة في فرنسا وما تزال تحتفظ بمدافعين عنها . وهناك موقف مختلف ينطلق من هوفمستر ، وقد تمسك به ساندرس سنة 1922 ومفاده ان النبتة هي بنية محورية اخذت من غطاء الركائز الورقية .

ولا يبدو ان النظريات النباتية (الفيتونية) المقررة على اسـاس الشكل ، والتشـريح والتـوالد الفردي المقارنة ، يمكن ان تتوافق بسهولة مع المعطيات القديمة حول علم النبات . وبالمقابل فان النظريات الكاملة (تيلوميك) ، المؤسّسة في معظمهـا على المعطيـات القديمـة ، نزعت لـلارتقاء الى مستوى المعنى العام .

والنظريات الاولى والثانية تركز على وحدة النبتة الـورقية ، مخـالفة بـذلك التصنيف الفئـوي المبـالغ والمفـرط لاعضاء النبتـة . وهي رغـم ذلك تبقى في حـالة تـأملات نـظرية شكليـة إلى حدٍ بعيد . بالنسبة إلى ساكس (1875) تنطبق كلمة جذع وكلمة ورقة « على نوع من العلاقات بين اقسام كلّ تشكله النبتة » . وهذا المفهوم قد طوره بقـوة أنيس أربر (1930, 1950) ، الـذي يرى ان الـورقة (وحتى الجذر) ليس الا نبتة جزئية . الواقع اذا كان مفهوم النبتة هو اكثر ارضاءً من مفـاهيم الجذر والورقة ، فان اعمال توليد الشكل التجريبية لم تنجح في تحويل « النبتة الجزئيـة » إلى «نبتة كاملة» (وردلو Wardlaw, 1949) .

وهناك مظهر مفيد من مظاهر علم الشكـل أو المورفـولوجيـا ، قائم في مجـال مجاور ، وهـو النظر إلى تتالي الاجيـال ، في علاقـاتها مـع تطور المملكـة النباتيـة ، وخاصـة الانتقال من الحيـاة المائية الى الحياة الارضيـة .

ان نظرية باور التناقضيـة ، التي سبق ورسمها شيـلاكوفسكي (1874) ، تـرتكز على فكـرة ان النبتـة اللاجنسيـة كما في الـطحالب تشكـل جيلا وسـطاً بين جيلين من النبـاتـات الجنسيـة . وفي الاشكال الدنيا تبدو النبتة اللاجنسية مؤلفة بالكامل من نسيج يولد الخلايا اللاجنسية (سبـوروجين)، وهذا النسيج يعطي ـ بعد العقم المتصاعد وبعد التخصص ـ النبتة اللاجنسية في النباتات العليا .

في الحقبة التي اعلنت فيها هذه النظرية (1890 ,1908) ، لـم يكن التناوب او التتـالي قد اثبت

بعد ، لدى الطحالب : فقد بدت النباتات الإشنية أو الطحلبية تمثل مرتبة وسيطة بين الطحالب وبين النباتات العليا . وناهض أ . ج . إيمس هذا المفهوم (1936) ، ثم عاد الى افكار برنغشيم ، فانحاز الى النظرية النظيرية (شيلاكوفسكي) التي انضم اليها معظم المتخصصين المعاصرين . ان التناوب التشاكلي (نبات لاجنسي ، ونبات جنسي متشابهان ظاهرياً) ، الشائع في الطحالب ، هو في اساس مختلف الانماط المعثور عليها ؛ وهذا التناوب التشاكلي مشتق من دورة احادية الصبغة بصورة كاملة وذلك بعد الغاء الانقسام التناصفي في فترة التنتش في اللاقحة .

وانطلاقاً من مفهوم الهيئة التباينية في الهُدب ، هيئة الطحالب ذات الخيوط المنهكة جزئياً ، والأخرى المنتصبة ، بيّن فرتش (1939، 1945) ، ببراعة متناهية ، كيف يمكن ان نتصور التكيف التدريجي الحاصل في بعض الطحالب الخضراء ، من اجل مواجهة الحياة الارضية ، بعد خسارتها لهيئتها الانهاكية . ان الطحالب تشكل الفرع الوحيد من النباتات ذات العضو الأنثوي التجويفي الذي احتفظ بالهيئة المختلفة الهدب (نبت ذو جهاز تناسلي ، وورقة منتصبة انما باهداب متدلية منهكة) .

مورفولوجيا النمو والتطور . انتظام الاوراق . نظرية الزهرة ـ ان النظريات التي سبق ذكرها تتناول مسألة العلاقات بين الورقة والجذع في النباتات ذات الجذع ، كما تعنى بالعلاقات بين « الإنباتي » وبين « التناسلي » ، من زاوية التطور أو ، بصورة ابسط من زاوية التخليق الفردي . وعلى موازاة الخط ، وان بصورة متقطعة ، جرى الاهتمام بانتظام الاوراق ؛ ان اعمال ڤان ايترسون (1907) ، وشورش (1904، 1913) ، وأرسي تومسون (1942) ، وبلانتيفول (1946، 1947) ، وريشاردس (1948) ، ترسم هذا التيار . وتمت انجازات كبيرة في هذا المجال ، فلم يعد من المقبول ، بشكل عام ان يكون الحلزون الشهير المولد ، ليعتبر الا كخط وهمي خيالي ، او تعبير هندسي عن العمل المنتظم الذي يقوم به النسيج الانشائي ، دون ان يكون له بذاته اية طاقة سببية . ان المدرسة الفرنسية، برئاسة ل. بلانتيفول Plantefol خاصة ، قد جهلت في اثبات حقيقة المراوح المتعددة الناتجة عن عمل المراكز المولدة للأوراق ، والموجودة في الرؤوس الجنينية . والحقيقة بهذا الشأن ، يجب ان يبحث عنها عند مستوى الانسجة الانشائية أو التخلقية ، والبحوث في هذا المجال هي التي جددت ، من حيث كثرة عددها وما تدلي به ، هذا المستوى .

هناك كتابان وجها الفكر المعاصر ، كتاب أ . شميدت (1924) ، وكتاب م . ور . سنو Snow (منذ 1931) .

لقد أعطى شميدت الانطلاقة « للدراسات النسيجية حول النقطة النباتية في باديات الزهر » (1924) . ان نظرية « تونيكا ـ كربوس » [الجسم الغلافي أو الغشائي] التي قال بها شميدت ، والتي سبق وعرضها ل . كوش (1891) ، ثم دعمها ج . بودر Buder (1928) ، وأ . س . فوستر (1939 - 1941) ـ والتي حلت محل مفاهيم ناجيلي وهانستين ـ، تعطي صورة مرنة نوعاً ما للنقطة الانباتية بحيث تنطبق على معظم الحالات . هذا العضو يتكون من منطقتين غير واضحتي المعالم، ومتنوعتين : المنطقة الاولى كثيفة وهي الجسم ، وفيه تنقسم الخلايا بدون نظام ، والمنطقة الثانية

غشائية غلافية وتتألف من قواعد منتظمة هي التونيكا أو الغلاف أو الغشاء أو الإهاب .

ان نظرية تونيكا ـ كربوس أو الجسم الغشائي السهلة كانت وتبقى اداة جيدة للوصف . واستخرجت مفاهيم جديدة على اثر الاعمال التي قام بها ج . ب . ماجومدار Majumdar (1942) ، وو . ر . فيليبسون (1946) ، ول . بلانتيفول ور . بوڤاه Buvat (1947 - 1955) ؛ وبذل جهد من أجل توضيح عمل النقط الإنباتية ، في علاقاتها بتشكل الازهار، والنورات من جهة، وبناء محدد تماماً، لسلك انتظام الاوراق من جهة أخرى .

وحول هذه النقطة الأخيرة طرحت فرضيات عدة ؛ وقد قدم الكثير من التوضيحات . وقد لقي اثنان من هذه التوضيحات قبولاً حسناً ؛ الاول « نظرية الدفع » أو النبذ ، والتي قدمها ج . هـ . برستلي ول . ي . سكوت (1933) ، وكذلك ت . شموكر ، وحديثاً دافع عنها ريشاردس (1948) ، ونظرية « الفضاء القريب المستعمل » التي قال بها آل سنو .

في الحالة الاولى ينطلق الاساس الورقي بعيداً جداً وما امكن عن كل السابقات الورقية الموجودة ، وبعيداً عن ذروة الذروة : في المكان الذي يكون فيه الصدُّ (المحدث بسبب مُعطل للنمو) تحت القيمة الحدية ، عندها يتهيّأ بداء جديد . تنطلق نظرية آل سنو Snow التي دافع عنها وردلو سنة 1949 ، من ڤان ايترسون وتقول بان البداءة تنطلق من مكان قريب من الذروة منذ ان يصبح المكان الادنى الصالح للاستخدام جاهزاً .

ونـدين لآل سنو بانهم فتحوا باحكام مدهش الفصل الاساسي في علم انتظام الاوراق التجريبي .

ونظرية اللولب المولد تنطلق من « فلسفة الطبيعة » ومن افكار غوتا . وبفضل غوتا ايضاً ، ارتسمت النظرية الكلاسيكية حول الزهرة ، والتي اعطتها اسسها العلمية اعمال ڤان تيغم (1871) ، واعمال ترول (1928 - 1939) ، واعمال ايمس Eames (1931 - 1951) . ان اللولب المولد يمتد في الزهرة الى ان يصل إلى اعضاء الذكورة السَداة والى الخباء أو اعضاء التانيث الحاملة للبويضات ؛ وتمثل السداة والخباء اوراقاً زهرية ، تولد السبورات أو « السبوروفيل » (أي التولد البوغي والاوراق البوغية) . وهذه النظرية ، التي لا تزال مقبولة من معظم علماء النبات لقيت معارضة قاطعة من قبل كثير من المؤلفين (ج . مكلين طومسون ، 1923 - 1944 ؛ ڤ . غريغوار ، 1931 - 1938 ؛ ل . بلانتيفول ، 1949) .

وتحليل النسيج الانشائي الزهري وتوالده او تخلقه قد اثار العديد من التأويلات . ان تحول النسيج النباتي ، الذي وصف ورصد كثيراً ، قد رفض لصالح نظرية تدخل قسماً خاصاً ، كان في الماضي غير ناشط ،من النقطة الانباتية : بمعنى ان تكون للأقسام الاساسية من الزهرة صفة ذاتية التوالد ، وتنتج عن نشاط نسيجي سابق الوجود ومحدد (بلانتيفول ، بوڤاه) . وقد أوضحت المعطيات المأخوذة من التوارث الشكلي التجريبي ، ومن علم النبات القديم، مسألة القيمة الشكلانية للزهرة . وقد اثار تيارٌ وحدوي ارتسم منذ القرن التاسع عشر موجة من التقريب بين الطروحات القائمة . ويبدو ان البحوث المقبلة سوف تعنى بتحليل الزهرة في كاسيات البزر

باعتبارها « نبتة » إنباتية متحولة نوعياً (تحت تأثير بعض المواد) .

علم النبات القديم ـ ان البحوث حول علم النبات القديم التي استمرت منذ نصف قرن قد القت ضوءاً ساطعاً على تطور المملكة الحيوانية منذ الحقبة الاساسية ، حقبة البكتيريا والاشنات ، حقبة الوسط المائي ، والتي تقع في العصر قبل الكمبيري ، اي منذ ما يقارب مليارين من السنين .

هذه البحوث ـ الدراسات التي قام بها أ . و . بري (1916) ، ك . ل . رابيد وم . أ . ج . شندلر (1933) ، حول النباتات الايوسينية [اي من العصر الايوسيني]، الخ . قد كشفت عن الاوجه البيئية والجغرافية في تحليل النباتات المندثرة ، مع التأكيد على قيمتها الطبقاتية (اعمال غراند اوري حول الفحميات) . وهذا التحليل قد جدد فضلاً عن ذلك بعض المفاهيم المهمة (اعمال ر . فلورين حول الحباليات) وحدد انجازات محسوسة حول مفاهيمنا لاصل الانماط الكبرى البنيوية وحول المراحل الرئيسية للتفارق والتكيف .

ان نباتات العصر الديفوني كانت موضوع استكشاف ناشط فقدمت المعطيات الاكثر دوياً .

لقد قرر الانكليزيان ف . و . اوليفر ود . هـ . سكوت سنة 1903 انه منذ العصر الديفوني الاوسط وجدت انواع من « الخنشار أو السرخسيات ذات البزور » ، ونباتات بزرية او نباتات وعائية ذات بزور تمثلها في أيامنا عاريات البزر وكاسيات البزر . وقد بينا ان بعض البزور المتحجرة تتأتى عن مثل هذه النباتات المسماة البذريات المجنّحة ، وقد وصفت منها أنماط منذ ذلك الحين .

ومن جهتهما قام ر . كيدستون Kidston وو . هـ . لنغ Lang باستكشاف المهاد الديفوني في رينيا في اسكتلندا واوجدا طبقة النباتات الجرداء ، مضيفين الى النبات الأجرد (بسيلوفيتون) ، الذي وصفه دوسون Dawson سنة 18959 ثلاثة أصناف جديدة هي : رينيه ، هورنيه (او هورنيو فيتون) واستيرو غزيلون ، والاولان منها ليس لهما لا جذور ولا اوراق بل لهما عناصر وعائية فقط .

والمعتقد اليوم ان النباتات الجرداء لم تكن النباتات الوعائية الاولى . فهناك نباتات من هذا النمط ، الحقت برتبة نباتات ارجل الذئب (ليكوبوديال) ، قد اكتشفت في العصر السيلوري الاوسط في استراليا(لنغ وي . ك . كوكسون ، 1935)، ثمّ في الكمبري الأوسط شرقي سيبيريا (كريشتوفوفيش ، 1953) . وكذلك وصفت غبيرات أو بوغات من العصر الكمبري الاسفل والاوسط من قبل س . ن . نوموفا . وهذه الوقائع تؤكد وتثبت اعمال المتخصصين في علم الغبيرات (الطلع) ، وقد اعطى هؤلاء العلماء لنباتات العصر الكمبري ، والعصر السيلوري والعصر الديفوني الاسفل ، تنوعاً اكبر بكثير مما كان يتصور حتى ذلك الحين . وهناك اكتشافات اخرى تستحق الذكر . فقد قدم ج . ر . ويلاند نشرات مدهشة حول صنفٍ من عاريات البزور من العصر الطباشيري الاسفل ، والعصر الويلديني في الولايات المتحدة (1906 - 1916) حيث تم وصف ازاهير كاملة موقعها فوق جذوع « السيكادوديا » وهي نبتة من نمط عاريات البزر تبشر بشكل واضح بكاسيات البزر . وكذلك وصف هـ . طوماس (1925) ، مجموعة من النباتات الجوراسية ، تذكر بكاسيات البزر .

ومنذ خمس عشرة سنة عثر على مكتشفات متنوعة يطرح بعضها مسائل جديدة منها خماسية الخشب من العصر الجوارسي في الهند (ب . ساهني ، 1948) ؛ فوجنو فيسكيال ، وهي نباتات ذات بذور فريدة جداً من العصر البرمي في سيبيريا (م . ف . نوبورغ ، 1955) ؛ بنيات نباتية ربما كانت بدون ساق ولا جذر ، من العصر ما قبل الكمبري في أونتاريو ، وعمرها 1700 مليون سنة (س . أ . تيلر وأ . س . بارغهورن ، 1954) ، الخ . وامكن التساؤل هل ان علم النبات القديم الذي احتفظ بكل قيمته في مطلع القرن العشرين ، وهذا ما يدل عليه نشر سلسلة من الموسوعات الكبرى (أ . ك . سيوارد ، 1898 - 1919 ؛ د . هـ . سكوت ، 1920-1923 ؛ م . هرمر 1927) ، سوف يستعيد الوقع ، والايمان الحماسي اللذين كانا له ، وقد فقدهما لبرهة . خشية في غير محلها : فالنتائج الحاصلة منذ الحرب العالمية الاخيرة تدل على ان هذا العلم القديم قد نهض بنهضة باهرة .

علم الغبيرات ـ انه علم ناشىء ، لم يأخذ اسمه الا حديثاً (أ . هايد ، 1944) ؛ ان البالينولوجيا أو علم البوغات والغبيرات قد تطور بسرعة . فقد تمثل بشعبة مستقلة في المؤتمر الدولي لعلم النبات سنة 1954 ، واصبح يمتلك مجلتين دوريتين متخصصتين هما : (غرانا بالينولوجيكا ، ستوكهولم ؛ وبولين وسبور ، باريس) . والمجموعة المتكونة في السويد لا تحتوي على اقل من 20 الف نوع .

ومنذ نهاية القرن التاسع عشر ، بينت اعمال هـ . فيشر الاهمية المورفولوجية اي الشكلانية للبوغات (بولن) . واوجدت اعمال ج . لاجرهيم ثم ل . ڤون بوست 1916 ، الطريقة الاحصائية للتحليل البوغي « في الخث » . وهكذا تم تحديد اتجاهين كبيرين من البحوث ، الاتجاه الاول هدف الى التصنيف النشوئي النوعي ، وهدف الثاني الى الجيولوجيا . وكان للمنحى الاول ضخامة كبيرة على اثر اعمال الاميركي ر . ب . ودهاوس (1935) والسويدي ج . أرتمان (1943 - 1952) ـ وهكذا قدم علم الغبيرات أو البالينولوجيا أحد أفضل الأسس في تصنيف نباتات الرانال الخيطية ، باعتبارها مجموعة أولية من كاسيات البزور (ود هاوس Wodehouse) .

في الوقت الحاضر نشط هذا المجال العلمي نشاطاً كبيراً بفضل البحوث التطبّقية ، وخاصة الاستكشاف البترولي ولكن علم الغبيرات او البالينولوجيا يعنى بحقل من البحوث واسع جداً وخاصة الطب (الحساسية ، رشح القش ، والربو) والزراعة (البيولوجيا الزهرية والنحالة) .

علم الاخشاب والتشريح ـ كما هو الحال في البالينولوجيا عرف علم الاخشاب او غزيلولوجيا ، إذا اخذ بمعناه الضيق كدراسة بنيوية للخشب ، تطورين متميزين ، الاول في خدمة النشوء النوعي او التاريخي العرقي ، والتطور الاخر كطريقة مساعدة في مجال الجيولوجيا التطبّقية ، وقد وضع ي . و . بيلي من جامعة هارڤرد المبادىء الكبرى لهذا العلم .

وعلى اثر استقصاء واسع تناول مجمل النباتات الوعائية المتحجرة والحية بيَّن بيلي وو . و .

ترويبر ، سنة 1918 ، وجود ترابط بين قصر الخلايا الجزورية المغزلية الشكل ، والعناصر الخيطية التي تنتجها من جهة ، وبين التخصص التطوري من جهة أخرى . وقد تحكم هذا القانون البسيط والانيق بالبحوث الكلاسيكية التي قام بها ف . هـ . فروست (1930) حول اصل وتطور الاوعية داخل الخشب الثانوي ، ثم اعمال د . أ . كريبس حول النسيج الانشائي ، واعمال بارغهورن الخ . ومن جهته درس ف . ي . شيدل البنية الوعائية في وحيدات الفلقة (1940 - 1944) ، واصبح تطور الانظمة الوعائية اداة ثمينة بين يدي علماء النشوء النوعي .

والى علماء النبات يعود الفضل في الدعم الامتن الذي قدم حول بعض المفاهيم المهمة : الصفة الاولية للنباتات الخيطية بالنسبة الى الاعشاب ، غياب الروابط النشوئية المباشرة بين وحيدات الفلقة وثنائيات الفلقة ، وبين كاسيات البزور وعاريات البزور الخ . والنتائج الحاصلة حول تشريح الاقسام النباتية في كاسيات البزور منذ موسعة هـ . سوليديرر (1908) ، قد جمعت ونسقت في نشرة ضخمة للغاية (ك . ر . ميتكالف ول . شالك Chalk ، 1950 ، 1960) .

ان قشرة الاشجار وخاصة اللحاء الثانوي وكذلك اللحاء الأولي ، وهما قسمان يحتويان على الانابيب المثقبة ويلعبان دوراً اساسياً في الجر العامودي للنسغ المصنع ، قد تلقت اهتماماً خاصاً ميزته (1933 - 1948) اعمال مس أ . ايزو التي اهتمت بالروابط بين البنية والوظيفية . وادخل أ . س . كرافت فكرة مجموعة السمات الخاصة ، بين الانابيب المثقبة في النباتات البزرية أو الزهرية وبين بعض انسجة النباتات غير الوعائية مثل (الطحالب والاشنات السمراء) (1934, 1951) وهو مفهوم جرّ وراءه مفهوم « الاولانية أو البدائية » في اللحاء بالنسبة الى الخشب .

علم الاجنة ـ انه علم الجنين وتطور البيضة . ويهتم علم الاجنة النباتي بكل المناطق الجنينية (البراعم والقلب في النباتات الخيطية) . من هنا سلسلتان متوازيتان من البحوث : علم الأجنة فيما يتعلق بالبيضة وعلم الاجنة فيما يتعلق بالنقط الإنباتية وهو علم سبق ذكره .

وفي بداية القرن ، ورغم الاعمال الجميلة التي قام بها ج . هانستين سنة 1870 ، م . تروب ، ل . غينارد ، د . هـ . كامبل (1897, 1905) ، كان علم الاجنة يبحث عن طرقه . وكانت الوقائع الكبرى البدائية قد اكتشفت (ومنها المزدوج ، 1898 - 1899) ودخلت تقنيات علم الانسجة الحديث القائم على الشرائح التسلسلية وعلى التلوين ، مجال التطبيق . ابتداء من سنة 1910 ، قام ر . سوييج Souèges بدراسة الجنين عند كاسيات البزور . وفي نصف قرن من العمل العنيد ، ضمن شروط صعبة ، تجاه لا مبالاة شبه عامة ، فقد تتبع هذا العالم ، لدى اكثر من 150 نوعاً ، التوالد الخلوي انطلاقاً من البيضة حتى الجنين البالغ ، واعلن عن قوانين تفلق « البلاستومير » (1937) وعن نظام تصنيف للانماط الجنينية التخلقية (1939) . ومنذ 1920 طوّر ج .ت . بوشولتز علم الأجنة لدى عاريات البزور . وحوالي سنة 1930 برزت أهمية النتائج الحاصلة نشر موسوعة حول علم الاجنة لدى النباتات الزهرية (ك . شنارف Schnarf ، 1929 - 1933) .

ان مؤلفات د . آ . جوهانسن (1950) ، ب . ماهشواري (1950) ، ك . و . واردلو (1952 ، 1960) تدل على الاهتمام المنصب في الوقت الحاضر على هذا الحقل من البحث . والمسائل

الجديدة المرتبطة بتقدم الفيزيولوجيا (حفظ البوغ ، التبرعم ، تعدد الاجنة ، التوالد العذري ، الخ) وادخال التقنيات التجريبية (زراعة الاجنة المستأصلة) قد ساهمت في احياء البحوث .

علم الوراثة الخلوي ـ اعطت سنة 1900 ، التي شهدت الولادة المتفجرة لعلم الوراثة ، دفعة قوية لعلم الخلايا ، كما اعطت ايضاً اتجاهاً خصوصياً وتضييقياً ، لدراسة النواة . وبالفعل ، ومنذ 1903 ، تمّ ادراك الرابط بين الكروموسوم (الملونات ، الصبغيات) وبين الانتقال المندلي للسمات (اعمال مدرسة أ . ب . ويلسون ، وو . سوتون) . ان علم الكاريولوجيا او علم طبيعة الصبغيات قد عرف بعد ذلك انتشاراً واسعاً ، كما عرف به اساتذة امثال ف . أ . جانسنس ، ف . غريغوار ، ب . مارتنس في بلجيكا ، أ . هيتز في المانيا ، ك . د . دارلنغتون في انكلترا . واخذ علم السيتولوجيا عن الوراثة ، فتحولت بشكل حصري إلى علم الكاريولوجيا أو علم البحث في طبيعة الصبغيات ثم الضياع اخيراً ، وفي قسم كبير منه ، في علم الوراثة الذي برز تحت اسم علم الوراثة الخلوي (سيتوجنتيك)[1] . واستخرج هذا العلم الاسس المادية للنظرية الصبغية في الوراثة مثل : دراسة البنية ، والفيزيولوجيا ، وانقسام الصبغيات. ومع علم الوراثة ، اعاد بناء الداروينية ، واسس المنهجية البيولوجية . وبصورة اكثر تواضعاً ساعد الى حدٍ كبير وما يزال يساعد علم التصنيف التقليدي .

ان احد مظاهر الكاريولوجيا او علم الصبغيات النباتية كان دراسة بعض تحوّلات مجمل الصبغيات ، في « غاميت » ، تحوّلات مسماة تعدّد الصبغيات وشذوذية الصبغيات (ج . تاكهولم ، 1922) . ومنذ الارصاد الاولى التي قام بها أ م . لوتز سنة 1907 ور . ر . غاتز سنة 1909 ، وخاصة بعد ان اكتشف البلجيكي أ . ب . دوستين ومساعدوه ، سنة 1934 و 1937 مفاعيل الكولشيسين ، أصبح تعدّد الصبغيات موضوع دراسات خصبة للغاية . فهذه القلويات المستخرجة من الكولشيكوم اوتومنال اتاحت تجميد الانقسام غير المباشر ، في المرحلة الثانية من مراحل انتقال الخلية ، ومن ثم الحصول على اعادة تكوين النواة مع عدد مزدوج من الصبغيات . وسرعان ما امتدت البحوث داخل المملكة النباتية (أ . ف . بلاكسلي ومدرسته ، أ . ت . أفيري ، ب . غافودان ، ج . مانجينوت ، م . سيمونت) .

ان تكاثر الصبغيات الذي يحصل على اثر بعض الاحداث التي تصيب التناصف أو الانقسام غير المباشر يلعب دوراً رئيسياً في التطور : وسنداً لبعض المؤلفين هناك ثلاثون في المئة على الاقل من الانواع المتعددة الصبغيات داخل كاسيات البزور . ودلت امثلة كلاسيكية كثيرة على ما يمكن ان يشكله دور تعدد الصبغيات في تخليف الانواع ، كوسيلة للعزل الجنسي ولتثبيت الفرد المهجن ؛ ومن بين الدراسات الاكثر جدة دراسة هـ . كيهارا (1954) حول « اجيلوبس » المنطقة المتوسطية ، وهو نوع متعدد الصبغيات يغطي مساحة واسعة جداً في وسطها يوجد الوالدان ثنائيا الصبغات .

---

(1) نجد دراسة شاملة لتقدّم علم الوراثة في الفصل الرابع من هذا القسم

علم الخلايا الكلاسيكي أو السيتولوجيا ـ على هامش الاستقصاءات الرائعة في مجال التوارث الخلوي ، تابع علم الخلايا الكلاسيكي طريقه بالاتصال الوثيق مع تطور التقنيات ، وهو تطور مصدوم اثار في بعض الأحيان تراجعات يؤسف لها . ومعظم المكونات الرئيسية للخلية النباتية هي السيتوبلاسما أو البلاسما الحشوية ، والنواة ثم البلاستا ثم الميتوكوندريا أو الكوندريا ،سام من جهة ، ثم الغشاوة والحوصلات ، والمضامين الشحمية من جهة أخرى ، هذه كلها قد رصدت في القرن التاسع عشر (لم تكشف الميتوكوندري النباتية الا في سنة 1904 من قبل ف . ميفس) ؛ ولكن انطلاقاً من سنة 1910 - 1912 ، اخذت بحوث ج . لويتسكي وبحوث أ . غيليرموند تلقي ضوءاً كبيراً على السيتوبلاسما وعناصرها المصورة . وبين سنة 1910 و 1930 نجحت بحوث ج . لويتسكي وأ . غيليرموند ، ج . مانجينوت ول . امبرجر وپ . أ . دانجارد في وضع رسيمة اساسية للخلية الكلوروفيلية بواسطة الطريقة الكلاسيكية القائمة على المقطوعات بشكل سلسلة (موسوعة السيتولوجيا ، غيليرموند ، مانجينوت ول . بلانتيفول ، 1933) .

لن نعود الى الانجازات الضخمة التي تحققت منذ 1940 في مجال التقنيات السيتولوجية[1]. هذه الثورة قد أحدثت قفزة في معارفنا، وقدمت اراء جديدة أو ثبتت ووضحت بعض النظرات القديمة .

وقد ايدت الدراسات الحديثة النظرية القديمة التي وضعها أ . ف . و . شمپر وأ . ماير وبموجبها تشكل « البلاستا » عناصر دائمة تنتقل بالانقسام ، هذه الاعضاء الصغيرة العدسية ذات القطر البالغ 4 إلى 6 ميكرون ، والتي عثر عليها في الخلايا الخضراء التي يبلغ عددها عدة عشرات ، تتفرع عن بلاستا سابقة ينقلها السيتوبلاسما الأمومي . فهل يمكن القول بهذا المجال ان البلاستا والميتوكوندريا هما شبيهان في هذا الصدد ؟ ان الدراسة بواسطة المجهر الالكتروني تؤيد الاستمرارية الوراثية في الميتكوندريا (ف . ج . جوسترانـد ، 1956) ، والبلاستا (س . ستروغجر ، أ . س . پريز) ، وهي سلالات مختلفة من شأنها التحول ، ولكن موضوع التوالد الذاتي في الميتوكوندريا ، لا يبدو محسوماً بصورة نهائية .

ان بنية الكلوروبلاست قد درست بالمجهر البصري من قبل أ . هينز (1932) ، فري - وسلنغ ، ستروغجر ، پ . دانجير Dangeard . ان تصور بنية حبيبية وصفائحية في الكلوروبلاست ، التي وضعها هؤلاء العلماء، قد تأكدت بالارصاد المجهرية الالكترونية (هـ . ليون ، 1953 ؛ جوستراند Sjöstrand، الخ) . ان الكلوروبلاست تتكون من قسمين (ملاحظة اوردها موهل منذ 1837 ، وانكرها غيليرموند) : مادة بروتينية اساسية ، الستروما ، تحوي شفرات متوازية ، مصفوفة وفقاً للمحور البلاستي الكبير ؛ وفي بعض الاماكن تشكل الشفرات المتماسكة والمتقاربة « الغرانوم » (ماير ، 1883) حيث يثبت الكلوروفيل وفقاً لرسيمة دقيقة .

ان الميتوكوندري هي أجسام ذات شكل وطول متنوعين تماماً ، بحيث قلما تتجاوز القطر 0,5 ميكرون ، كما انها ذات بنية معقدة ، كشفت منذ 1952 (ج . أ . پالاد ، جوستراند) . وهي ذات غشاء أطرافي مزدوج متصل بقنازع (حبيبات) او انابيب تدخل عميقاً في المادة الاساسية .

---

(1) انظر حول هذا الموضوع الفصل الأوّل والفقرة الأولى من الفصل الثالث من هذا القسم .

والميتوكوندري كثيرة العدد ، وهي بحركة دائمة ، ونعرف منذ سنين انها مركز التنفس الخلوي ؛ ونشاطها التأكسدي ذو علاقة بتطور القنازع التي هي مركز العديد من الانزيمات .

وتوسع التحليل البنيوي للخلية بشكل مشهود . واستعادت مسائل قديمة مثل مسائل الارغاستوبلاسم (بريناّن Prenant) ، واجسام غولجي (التي عثر عليها بوڤاه في الخلية النباتية سنة 1958) والبنية الليفية للنواة ، مركزها الاول من حيث الحضور .

وقد اكتشف ان الغشاء النووي مزدوج وفيه مسام بعضها كبير بحيث يسمح بمرور الجزيئات الكبيرة . والوريقة الخارجية (ج . د . واطسون ، 1955) على علاقة بشبكة من المجاري والحويصلات تقطع الحشوة الخلوية من غشاء الى غشاء ، وتجتاز الشبكة الحشوية الداخلية (ك . ر . پورتر وف . ل . كالمن ، 1952) التي تبيّن انها تتماهى مع الارغاستوبلاسم أو البلاسما الناشطة (1953) . والغشاء الخلوي البلاسمي الخارجي (بلاسماليم) هو أيضاً ذو طبيعة مزدوجة والوريقة الداخلية فيه هي استمرار للشبكة البلاسمية الداخلية (پالاد 1955 - 1956) . الى هذه الشبكة تتصل عموماً الجسيمات الريبية ، وهي جزيئات أوسميوفيلية من الريبو نوكلياز التي تعتبر الفاعلات الرئيسية في تركيب البروتينات . هذه الفاعلات اذا عزلت بالدوران النبذي ، امكن استخدامها ضمن الشروط الملائمة من اجل تركيب البروتينات في المختبر . والبنيات المعروفة باسم ميكروزوم ، والتي بها ترتبط الريبوزوم لن تكون الا أجزاء مقتلعة من الشبكة .

هذه البنيات المكتشفة حديثاً هي دلالة على عالم كان متوقعاً منذ نهاية القرن التاسع عشر ، ولكن كان يظن انه غير قابل للمعرفة .

ومعارفنا حول بنية النواة والعلاقات الوظيفية بين هذه البنية قد تقدمت بصعوبة بالغة ، على الاقل على صعيد الملاحظة المباشرة . ومع ذلك فهي الجهاز الاكثر اهمية في الخلية ولكنه ضعيف ويصعب تقليبه لرهافته .

وفي سنة 1924 انجز ر . فولجن تفاعلاً خصوصياً بسيطاً وحساساً اتاح استكشاف مكونه الاساسي :وهو حامض ديزوكسي ريبونوكليك أو A D N. وبيّن فولجن بمساعدة م . بيهرنس Behrens (الذي نجح في عزل النواة سنة 1938) ان الـ A D N كان جسماً يميز النواة الخلوية ، بما فيها لدى النباتات (1937) . وتفاعل فولجن اتاح بشكل خاص اثبات وجود « بروتونواة » في البكتيريا (ك . أ . روبينو ، 1942 - 1945) . وحامض ريبونوكلييك أو A R N ، الذي كان يبدو خاصاً بالبلاسما الخلوية قد اكتشف في النواة (ج . براشيه ، 1942) ، ولكنه لا يتكون فيها الا بكمية قليلة جداً . ونعرف اليوم ان النوى الصغيرة (نوكليول) ، وهي أجسام من 1 إلى 3 ميكرون كقطر ، تجتمع الى النواة ولكنها مستقلة عنها (وقد امكن عزلها بواسطة النبذ المركزي ، أ . هيوز Hughes ، 1952) .كماتحتوي نسبة مهمة من الـ A R N . وتحتوي النواة أيضاً على دهون وعلى بروتينات ومكونات اخرى بكمية وافرة .

ان هذه البحوث ، المحكومة بالبيوكيمياء ، هي في تطور دائم . ومن الصواب الاعتقاد اننا

في عشية احدى الثورات الكبرى في تاريخ البشرية . فقد ثبت ان الـ A D N يحتوي « على المعلومات » المقننة التي تسود تركيب الخلايا الكبرى المتخصصة . وهناك ترتيب بسيط هندسي لأربع وحدات من النوى الصغيرة في الـ A D N هي التي تحدد الخصوصيات اي الوراثة . ان الـ A R N يتدخل في تركيب البروتينات في الخلية ويؤمن نقل الامر من A D N . وهذا في كل خلية .

دون ان يقودنا هذا إلى الدرجة النهائية في معرفة الاواليات ، فان الدخول الى صميم البنية الخلوية ووظيفتها ، مهما بدا مؤثراً منذ خمس عشرة سنة ، فقد قوى كثيراً النظرية الخلوية .

II ـ علم النبات الأرضي والجغرافيا النباتية

1 ـ دراسات بيولوجية وزهورية . الاستكشاف

البحث الكلاسيكي ـ ان علم الازهار يتضمن ثلاث مراحل رئيسية : 1) الاستكشاف على الارض ، ثم جمع المادة النباتية ؛ 2) تصنيف وحفظ المادة المجموعة ، ضمن منبتات كبيرة او ضمن المجموعات الحية في الجنائن النباتية ؛ 3) نشر النباتات ، الاقليمية أو القارية ، مع دراسات متخصصة حول الانواع والاصناف أو العائلات ؛ وكل الاعمال التي لا تنفصل تقريباً عن التصنيف النظري وعن الجغرافيا الاحيائية .

تحت هذه المظاهر الثلاثة تم انجاز عمل ضخم يغطي العالم ، ويتابع بوتيرة العلم المعاصر . ونكتشف كل يوم انواعاً جديدة واصنافاً جديدة واحياناً أسراً جديدة أو حتى مراتب جديدة (مثلاً عند عديمات الجذر والساق) .

وسنداً لبعض التقديرات يقدر عدد الانواع المعروفة بحوالي 350 الفاً منها 20 الف من ذوات الأزهار، و 90 ألف فطر و 20 ألف اشنة و 7 آلاف بتيريدوفيت أي خفية الاعضاء التناسلية . وفي نصف قرن تقريباً تمت اكتشافات متناهية الاهمية نظرياً[1] . ولكن هناك عشرات الآلاف من الانواع ما تزال تنتظر الاكتشاف . وهناك اراضٍ واسعة استوائية ما تزال غير معروفة جزئياً . وهضبة كاملة في مدغشقر لم تكتشف لاول مرة الا سنة 1950 (هـ . همبرت) ونجد ايضاً انواعاً غير معروفة في المناطق التي استكشفت افضل من غيرها ، في الولايات المتحدة . وهناك كثير من الاماكن ، ومن الاراضي ومن المياه العذبة ومن البحار لم تعط الا جزءً يسيراً من ثرواتها من الكائنات الحية ومن أنواع الفطر خاصة .

منعطف في البحث ـ ولكن في هذا المجال من الاستكشاف النباتي ومن عالم النباتات ارتدى القرن العشرين ، بصورة تدريجية أولاً ثم بسرعة كبيرة بخلال السنوات الأخيرة ، وجهاً

---

(1) مثال ذلك الاكتشافات التي تناولت انواع « ديجينيريا » في جزر فيجي سنة 1934 ، واكتشاف كاسيات البزور الحبة الاكثر بدائية ؛ واكتشاف « ستيليت » البيرو (1957) ، وهو نوع آخر معروف في حالة الحياة ، من رتبة من النباتات هي (الايزوتال) (خفية الاعضاء التناسلية) موجودة بغزارة في الغابات الفحمية .

جديداً تجب الاشارة الى اصالته . ان البعثات المشهودة في القرن التاسع عشر ، مثل الرحلات الفردية ، المقرونة احياناً بالتدخل العسكري في البلدان المجهولة ، انطلقت اما من الفضول واما من المصلحة الاستغلالية واما من الاهتمامات الانتفاعية واما من هذين العاملين ، ولكنها جميعاً كانت تنطلق من الواقع العملي ومن الارتجال . وكانت تسير مسار الريازات في عالم بعيد يبدو لا متناهي الثروات أبداً وعملياً .

وبعد ذلك تم استيعاب واقعة اساسية ومأساوية : لقد اخذ الغطاء النباتي لكرتنا الارضية يتراجع بخطوات العمالقة ؛ وهكذا انطفأت الى الابد كائنات حية ، ليس من المؤكد ان العلم ، ومستقبل الانسان بالذات يجب ان يتعلقا بها ذات يوم ؛ وهكذا تموت الى الأبد التربة التي تتقسى الى قشرة عقيمة او تذهب الى البحر تحملها المياه أو الرياح . فضلاً عن ذلك ان سيطرة حضارتنا وخاصة التقنية توشك ان تقضي على ما تبقى من حضارات يقال عنها انها بدائية وهي في الواقع انماط حياة كثيرة التعقيد وذات ثقافة عالية وثمرة تجربة من الاف السنين تكيفت مع المكان ونحن ما نزال لا نعرف عنها الشيء الكثير . فمن الواجب اذا « انقاذ الطبيعة » : النبات والحيوان والتربة والحضارات . وهذا الوعي من قبل علماء الطبيعة وعلماء الأجناس قد ترجم خاصة بانشاء الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (U.I.P.N) (بروكسل 1947) ، والذي اصبح الاتحاد من اجل المحافظة على الطبيعة ومواردها U.I.C.N . وادى هذا الوعي الى نهضة علم طبيعة الارض ، باعتباره لاكتسلية بل كعلم اساسي بالنسبة الى البيولوجيا كما بالنسبة الى علم السلالات أو الاقتصاد ؛ انه علم اساسي معاير على نفس مستوى علم التربة وعلم البيئة وعلم الاعراق النباتية ، وهي مجالات علمية ولدت في هذا العصر وتحت ضغط من الاحداث ذاتها ، سواء كانت هذه الاحداث بشرية (مثل الحروب العالمية ، والتحرر من الاستعمار ، والصراع ضد الجوع ، وقيام دول مناوئة للراسمالية . .) ، تقنية (النقل السريع والمريح) أو علمية (نجاح الداروينية ، وانتصار علم الوراثة) .

وهناك بلدان ، افضل من غيرهما قد سارا في هذه السبل الجديدة هما الاتحاد السوفياتي والولايات المتحدة . وهناك مجالان علميان جديدان هما علم السلالات النباتية والمنهجية الاحيائية ، يبرزان بشكل خاص هذا الاتجاه .

فافيلوف وتجدد علم النبات التطبيقي - في الاتحاد السوفياتي حيث يسود الاهتمام بربط النظرية بالتطبيق ، ارتدت البحوث من هذا النمط ، خاصة مع ن . أ . فافيلوف مساراً تطورياً لم يعرف في مكان آخر . ان العمل النظري والتطبيقي الذي قام به ڤافيلوف - وقد هوجم بشدة بالغة ، من قبل عالم آخر ذي شهرة كبيرة ، هوت . ليسينكو الذي ساهم ، بطرق اخرى في زيادة انتاج بلاده الزراعي - هو عمل ملحوظ جداً . فنحن مدينون لهذا العالم البيولوجي بمفاهيم ، ان لم تكن مبيّنة فهي على الاقل خصبة الى اقصى حد هي : وجود مراكز منشأ ، أو مهاد لنباتات مغروسة ، ولا قاربها القريبة ، هناك حيث توجد اكبر تنوعية في النوع الواحد (1926 - 1934) ؛ وجود تنوعات متماثلة (1920) بين العائلات ، والانواع ، والاصناف أو المنوعات المتقاربه ، وهو مفهوم اتاح

التنبؤ والبحث عن التنوع ضمن بعض الجماهير من النباتات أو الحيوانات ؛ واعمال كلاسيكية حول جغرافيا المناعة (1919) .

ان عمل ثاثيلوف ومدرسته في معهد البوتانيك التطبيقي ، في لينثغراد (400 محطة تجريبية) يمثل الجهد الاروع المبذول من اجل المعرفة ومن اجل الافادة ، ومن اجل التحسين على اسس وراثية وايضاً من اجل حفظ الموارد النباتية على الارض . ونظم المعهد عدداً من البعثات ، خاصة بعثة القمح (1924 - 1933) التي جمعت كمية هائلة (31000 نوع خاص) من المواد المتنوعة ، وبعثة البطاطا (1925 - 1927) الى اميركا الجنوبية التي جمعت مادة لا تقدر بثمن ، اتخذت كاساس لبحوث كلاسيكية قام بها س . م . بوكاسوف (1932) .

وأصبح اليوم ادخال المزروعات الحية إلى الاتحاد السوفياتي ، وتأقلمها المحتمل شأناً من شؤون الدولة . وقد تطورت هذه المزروعات بشكل خاص على أثر الاعمال التي قام بها العالم الشهير والمربي الزراعي ي . ف . متشورين وأدت إلى نتائج عملية مهمّة جداً (زراعة النباتات شبه المدارية ، مثل الأوكالبتوس والألوريت في مناطق البحر الأسود ، والقوقاس والقرم) وإلى وضع نظرية التأقلم (ف . ب . ماليف 1933 ؛ ب . آ . بارانوف ، الخ) .

البعثات الاميركية الكبرى ـ لقد تصرفت الولايات المتحدة ، وفقاً لأسلوبها ، كذلك ، والنتائج التي حصلت هي من الدرجة الأولى . وقد وضعت خطط ، متعلقة بشجرة الكينا (سينشونا) ، وبالتبغ (نيكوتيانا) والنباتات الكوتشوكية ، وبدراسة الاوساط القطبية ، الخ . وفي كل مرة كان يتم استخدام وسائل ضخمة .

وشارك اثنا وعشرون عالماً مصنِّفاً شهيراً (و . ك . ستير ، ج . آ . ستيرمارك ، فوسبرغ ، ج . ايوان ، الخ) في اكتشاف نوع سينشونا (1942 - 1945) ـ يذكر ب . ماغوير Maguire (1958) ـ بهدف تحديد ومسح مساحات توزيع النوع ، وغزارة الجماعات ، وتدوين كل المعلومات ، وجمع المواد من اجل دراسة النوع والنباتات القريبة تماماً .

ومنذ القرن التاسع عشر اهتمت الولايات المتحدة بالمشاركة في الجرد النباتي في العالم ، ثم تكوين مجموعات حية فيها . في سنة 1890 ، اصبحت وزارة الزراعة الاميركية ، الجهاز المسؤول عن ادخال المزروعات ، وحرصت على التعاون مع رجال امثال د . فيرشايلد Fairchild ، الذي كان احد اشهر المستكشفين للنباتات النافعة . وتتضمن مجموعة من أنواع القمح اثني عشر الف نمط ومجموعة الشعير تتضمن خمسة آلاف نمط .

علم السلالات النباتية (الاتنوبوتانيك) ـ ان هذا العلم جديد ، فلم يُعَرَّفْ الا قليلاً . وهو يعالج علاقات الانسان الاول البدائي مع النباتات . ولكن « الأتنو ـ بوتانيك » يتفرد بأنه حشر فجأة ومرة واحدة مع العلوم التطبيقية . وهو ينتشر بوتيرة متسارعة محاولاً ، ليس فقط فهم وانقاذ النادر من آثار العبقرية الضخمة للمجتمعات الجدودية ، بل الإفادة منها أيضاً .

لقد تعلمنا منذ مدّة من الزمن ، على محاربة تعفن الزبدة بواسطة مستحلب من النباتات

اسمه « لاَرْيا » يستعمله هنود [الحمر] نيفادا . وكشفت لنا الشعوب القديمة في آسيا وافريقيا ، واميركا عن « راوولفيا سربنتينا » وعن الايغنام (Ignames) ، وعن ستروفانتوس ، وعن الباهرة Agaves ، وعن لونوفورا ، وعن پسيلوسيب وغيرها من النباتات العلاجية الطبية .

ان الاكتشاف العملي للمضادات الحيوية يبدو الفضل فيه إلى هنود اميركا الشمالية الذين كانوا يستعملون التراب والخشب المهترىء لشفاء الجروح . ان فضائل الفطور في مكافحة الانتان كانت ، على كل حال ، معروفة منذ زمن بعيد من الصينيين .

إن علم السلالات النباتية (اتنوبوتانيك) قد توضح فجأة بفضل الاعمال حول الپنيسيليوم ، دون أن يسهم فيها ، وظهر عندئذ كطريقة أساسية في علم الصيدلة . وقد توِّجت المرحلة الثانية الذائعة الصيت باسناد جائزة نوبل في الطب الى ت . رايخشتاين Reichstein الذي نجح في تركيب الكورتيزون انطلاقاً من حبوب الستروفانتوس : ان البحوث حول الأجناس النباتية المقامة يومئذ قد أتاحت بشكل خاص العثور على نباتات تفوق التسروفانتوس كمصدر للكورتيزون (ايغنام مكيسيكي) .

إن المساهمات الحديثة من جانب علم « الاتنوميكولوجي » (علم سلالات الفطريات) ، (ر . أ . شولتس Shultes، 1938 ؛ ر . ج . وڤ . پ . واصون Wasson ، ر . هايم وفريقه ، 1953 - 1958) ادت إلى اكتشاف ثم إلى تركيب مواد جديدة (آ . هوفمان وفريقه ، 1958) يمكن استعمالها في علم الطب النفسي . هذا المجموع المدهش من البحوث قدورد في كتابين : فطريات ، روسيا والتاريخ » (آل واصون ، 1957) و « الفطريات التي تولد الهلوسة في المكيسك » (ر . هايم ، ور . ج . واصون وفريقه 1958) . هذان الكتابان يمثلان ، بمناسبة موضوع خاص ، علم السلالات النباتية ، باعتباره أيضاً كنظرية تفسيرية وكتوثيق علمي سلالي وعلم تطبيقي .

البيوسيستيماتيك (المنهجية الاحيائية) ودراسة النوع ـ ان علم نبات الارض ، المرتكز على مصطبة جغرافية ، قد ولِّد علماً آخر ما يزال قاصراً ، ولكنه يجتذب اليه أفضل المصنفين هو علم المنهجية الاحيائية (بيو ـ سيستيماتيك) . هذا العلم ، المنسق تماماً في طرقه واهدافه ، قد ولد ، كما يدل اسمه ، بائتلاف تيارين . كانت المنهجية الكلاسيكية تهدف في القرن الثامن عشر إلى وضع جردة الكائنات ، والى وضع نظام الوحدة التصنيفية (اصناف هـ . س . لام ، 1948) وتتناول بالتعريف ، الكائن « المتعدِّد والثابت » . وبخلال القرن التاسع عشر اصطدمت المنهجية الكلاسيكية بالبيولوجيا ، وهو علم جديد يهتم بكيفية الاشياء ويتجه نحو « الواحد » ونحو « الحركة » . هذا النزاع قد تفاقم مع بدايات علم الوراثة ، التي زعزعت بشكل مشهود مفهوم النوع الليني [نسبة إلى لينِّي Linné] .

وفي النهاية تشرب علم المنهجية ، اكثر فأكثر ، بما قدمته البيولوجيا ، المستغنية بتقدمات علم الوراثة . هذا الاتصال تسبب بظهور علم المنهجية الاحيائية (بيوسيستيماتيك) أو علم التصنيف الطبيعي ، الذي يختلف عن علم المنهجية الكلاسيكي بواقعة انه ـ وقد انشغل بتشكيل

الاصناف Taxons ـ قصر حقل دراسته على التعددية التشكلية وعلى التصنيف Spéciation ، وهو مجال كان من رواده آ . جوردان وج . بونّيه (1900) . كان علم الوراثة قد اضطر إلى أن يتحول إلى علم تصنيف ، في حين أصبح علم التصنيف بذاته علماً تجريبياً .

إن تجارب بونّيه حول ليونة الانواع وحول الاشكال الثابتة ، غير الوراثية ، قد توبعت بدقة كبيرة في اميركا (ف . أ . كليمنتس وهال ، د . ي . ماك دوغالّ) ، الا ان اعمال ج . توريسُّون (1922 - 1931) وعلماء الوراثة هي التي رسمت الطرق الحديثة . ونحن مدينون لتوريسون بكلمتي « نمط نوع » «Ecotype» والأصناف البيئية Ecospécies . وعرّف ي . و . غريغور ومدرسته « الايكوتيب » « كجمهور متميز بسمات شكلية وفيزيولوجية ، ذات طبيعة كمية عموماً ، مُخاصبة مع أنماط نوعية اخرى (Ecotypes) و (Ecospécies) ، انما ممنوعة عملياً من تبادل الجينات بحرية ، من جراء قيام الحواجز البيئية » ، أما الأصناف البيئية فهي الأنواع البدائية التي تؤلف نوعاً جماعياً يسمى « سينوسبيي » Cénospécies . هذه الدراسات هي بالتالي في خط أعمال جوردان إنما مخصبة بمقدمات علم الوراثة وعلم البيئة .

وقام العديد من علماء الوراثة ومن علماء البيئة بلعب دور مهم في تثبيت هذا العلم ، ولكن هذا الأخير لم يتجسد الا بعد نشر ، بين 1940 و 1950 ، بعض الكتب الرئيسية وضعها ج . كلوزن ، د . د . كيك وو . م . هيزي ؛ أ . ب . بابكوك ، ج . ل . ستيبنس . ان العمل الجماعي الذي قام به ج . هوكسلي « المنهجية الجديدة » (1940) ، قد ساعد كثيراً من اجل نهضة الفكر الجديد . وبعد عشر سنين بيّن كتاب ستيبنس الكبير « التغير والتطور في النباتات » (1950) ، والمحاولة الجميلة التي قام بها كلوزن « مراحل التطور في أنواع النباتات » (1951) ، على ضخامة الداروينية الحديثة وخصبها .

المستكشفون، المعشبات، النباتات ـ رغم كل شيء يجب أن لا تعطي هذه العلوم الحديثة المرتبطة بعلم نبات الارض مكاناً في التاريخ لا تستحقه . لا شك انها فتحت طرق المستقبل ، وانعشت علم النبات القديم ، ولكن ماذا يكون حالها ، لولا البنية التحتية المقامة بلا هوادة منذ تورنفور . واليوم أيضاً ، انه من ناحية المعشبات والاعمال ذات العلاقة المباشرة بالاستكشاف وتنامي المجموعات ، تقاس أهمية تقدم العلم النباتي . فعلماء النبات والمصنفون ما زالوا حاضرين يشكلون الجيش الكبير .

إن تنوع الناس الذين خدموا [علم النبات] تجعل العلم هنا يأخذ سمة فريدة ؛ علماء متفوقون ، من امثال مرّيل Merrill ، وماري ـ فكتورين أو بيرييه دي لا باثي Perrier de la Bâthie ، يتجاورون فيه مع شجعان من المسافرين ، احياناً بدون معارف أمثال أ . بوالان، أحد اكبر الجامعين للاغراس في كل الازمنة . ونحن مدينون لبوالان Poilane بمعشبة من ثلاثين ألف رقم من النباتات(120000 صنف خاص أو أكثر) ، مواد أساس « نباتات الهند الصينية » للمؤلف هـ . لكونت وف . غانيبان Gagnepain ، واكتشاف عدد كبير من النباتات المفيدة أو الرائعة . وبين مرّيل وبوالان، وهما نمطان فريدان ، تأخذ مكاناً لها سلسلة من الرجال المختلفين

في الممكن ، انما المشتركين بالايمان وبالحماس للطبيعة .

ان نباتات القطب الشمالي ونباتات الولايات المتحدة ، ونباتات اميركا الوسطى والجنوبية ، وافريقيا الاستوائية ، وآسيا (ماليزيا ، جزر الباسيفيك، الخ .) قد استكشفت بشكل خاص ودرست من قبل علماء النبات المستكشفين ، من أهل الكفاءة ، وعددهم كبير فلا يتسع المقام لذكرهم هنا .

هذا العمل على الارض ، أتاح بشكل ضخم زيادة المجموعات . وأكبر المعشبات في العالم المتعلقة بالنباتات الوعائية (كيو ، بريتيش مكيزيوم ، معهد كوماروف في لينينغراد ، ميزيوم باريس) تعد اليوم خمسة ملايين نوع ، في كل منها [1] . وأمكن اقامة جنائن فخمة عامة أو اقليمية في : فرنسا ، أوروبا الوسطى ، الاتحاد السوفياتي ، اميركا الشمالية ، البيرو ، افريقيا الغربية ، الاستوائية ، شاطىء العاج ، افريقيا الجنوبية ، سورينام ، نيوزيلندة ، الخ . والجنائن التي تقام اليوم ترتكز بآنٍ واحد على المعارف القديمة وعلى دراسات جديدة ، ملاحقة بزخم من قبل العديد من المصنفين والنباتيين . ومنذ 1940 ، أقيم عدد كبير من الورش وبعضها أخذ يرى النور : البرازيل ، باناما ، افريقيا الشرقية الاستوائية ، الصحراء ، الكونغو البلجيكي سابقاً ، الخ . وهناك معشبتان حديثتان يمكن ذكرهما كممثلتين خاصتين للعقلية الجديدة ؛ معشبة كاليفورنيا (مونز Munz وكيك Keik ، 1959) ومعشبة ماليزيا (فان ستينيس Steenis ، منذ 1945) .

وتُرجِمَ الاستكشاف أيضاً بنشر مؤلفات خاصة ذات صفة تطبيقية مثل الكتب المخصصة للاشجار . وقد استخدم الاستكشاف أيضاً كأساس مباشر للعديد من المراجعات للبحوث الخاصة التي نشرت ، أما بشكل منفصل أو ضمن الموسوعات الكبرى أمثال أعمال آ . انغلر Engler وك . برانتل Prantl « فلانزنريخ ، ناتورليشن فلانزنفاميليان » التي ساهم فيها العديد من النباتيين .

إن علم النباتات والتصنيف الدراسي الخاص ، وهما مجالان أساسيان مرتبطان ربطاً وثيقاً بالاستكشاف ، يتأرجحان جزئياً بين مجالين متجاورين ، الجغرافيا النباتية والتصنيف العام .

2 ـ الجغرافيا . علم البيئة

تتضمن جغرافيا النباتات فصلاً ضخماً موازياً لفصل التصنيف الكلاسيكي ، ويتناول تطور المملكة النباتية عبر الزمن، والمعطى الجغرافي لا يتدخل الا كداعم . هذه الجغرافيا النباتية والتاريخية تعالج مسائل متعلقة بتوزيع الانواع ، والاصناف والعائلات (اعمال المسح الجغرافي الفضائي « اريوغرافي » أو الإقليمي لـج هـ . فستر ، 940 ؛ لـ هـ . موزل ، 1943 ؛ الخ) ، وبالنباتات المتحجرة (أ . و . بري Berry ، ر . و . شاني Chaney ، آ . ك . سيوارد ، د .

(1) ان معشبة برلين داهلن Berlin-Dahlen كانت تحتوي حوالى أربعة ملايين صنف قبل تدميرها بالقذائف سنة 1943 . ان مجموعات جامعة هارفارد وجنيف هي من هذا المستوى . وتأتي بعدها معشبات كلكوتا ، واشنطن ، ونيويورك وغيرها وتحتوي على مليوني صنف .

ي . اكزلرود ، الخ) ويتخلق النباتـات ؛ وترتكـز طريقتها أساسـاً على دراسة معشبـات ومستندات احاثية ـ جيولوجية .

وعند مستوى أرفع ، لا يعود المعطى الجغرافي ركيـزة سلبية ، بـل عامـلاً في الخلق الحالي للنبـاتات ، جـزءاً من معقدٍ من العـوامـل ، بعضهـا داخلي في الكـائن الحي (وراثي) ، والبعض الآخـر خارجي (نـظام خارجي) . وعنـد المستوى السببي والحـالي ، لا يعتبر علم منهجيـة البيئة وعلم جغرافية البيئة الا مظهرين لعلم واحد .

إلى جانب هذا التيـار التصنيفي تطور فـرع عن الجغرافيـة لا يقل أهميـة باعتبـار علاقـاتها مـع فيزيولوجيا النباتات ، وأوجهها ، وأساليب معيشتها ، وتكيفاتها . ولا يتعلق الأمر أبداً بالنبـاتات بـل بـالشمـاخ : انها الايكولوجيـا أو علم البيئة ، ايكـولوجيـا الانواع والاعـراق (انماط خـارجية أيْ écotype) أو مجموعات أنواع ، خاصة سوسيولوجيا المغروسات (فيتوسوسيولـوجيا) . في كتـاب رائع قام العالم الجغرافي بالنباتات الكندي ب . داتسيرو (1957) فميز بين مستويين آخرين من الدمج بين البيئة والجغرافية ، هما « البيئة ـ المناخ » والتصنيـع . ان علم البيئة ، في كـل من المجالين أو الحالتين ، يتناول علاقة النبتة بالبيئات (تكيف الانواع والاعراق ؛ النباتات كدالات على المنـاخ ، الخ) ، وبالانسان (تحول المنظر الطبيعي والشروط الطبيعية بفعل الانسـان) .

التيـارات في مطلع القـرن ـ الروس ، في مـطلع القرن ، هم الـذين أعطوا علم الجغـرافية النباتية انشط دفعة وأعمقها . فالاعمال الرئيسية للجغـرافي العالم بـالتربـة ڤ . ڤ . دوكوتشيـف ، وس . ي . كورجنسكي، وڤ . ي . ڤرنـادسكي (الذي يعـود الفضل إليـه بمفاهيم الغـلاف الحيوي والغلاف الانساني ، 1945) هي في أساس التطور الفخم لهذا العلم في الاتحاد السوڤياتي .

ومن جهة أخرى تميز مطلع القرن بنشر معالجات كلاسيكية لـ أ . وارمنغ (1895 - 1896) وآ . أ . و . شمپر (1898) ، اللذين لعبا دوراً رئيسياً في توجيه هذا العلم ، ومعـالجات هـ . سـولمس ـ لوباخ (1905) ، وپ . غرابنر (1910) ، واعمال أ . درود (1913) . ان الاسماء العظيـمة لامثـال آ . انغلر ، ل . ديلـس ، هـ . بروكمان ـ جيروش ، أ . روبل ، الخ ، جعلـت يومئـذ من الجغرافيـا البيئية احد العلوم الاكثر بروزاً . سنة 1904 بدأ نشر موسوعة ج . كارستن وهـ . شنك : Vegetation bilder (26 مجلداً ، 1904 - 1944) .

منذ بداية القرن العشرين برز التوجه البيئي ، على يد ڤ . شروتر . وتم التوجه نحو تحليـل الاوساط المعقدة التي يعتبر الزرع جزءاً منها : تركيب ، بنية ، تاريخ ، تطور .

بـرون ـ بلانكت ، ف . كليمـانتس ، وعلم الاجتمـاع النبـاتي ـ سنـة 1915 ، فتـح فصـل مخصب بشكل خاص بفضل مذكرة ج . برون (برون ـ بلانكت) حول هضبة ابغـوال ، ان مفهوم « الاتحاد النباتي » الذي ارتآه همبولدت وأدخله ش . فلاهولت (1900) وجد في هذا العمل تطبيقـاً محدداً .

في أميركا وتحت تـأثير هـ . ك . كـولس (1899-1901) ، وخاصـة ف . كليمنتس (1916) ،

يتبعه ج . أ . ويفر (1919) ، ولد علم البيئة الدينامي .

وفوق أرض معينة تتالت الجماعات النباتية : يوجد تطور في المجمل البيولـوجي ، نحو حـالة من التـوازن تسمى « كليماكس » . والاتحـاد هو شـراكة أو تـلاؤم نباتي « فيتـوكونـوز » ، مناخي ، يسجل ضمن فئة المجموعات المدموجة ، المغلقة حيث يلعب التنافس ولكن حيث النوع الغـريب ممنوع من الدخول . ان المجموعة النباتية أو الشراكة (فيتوكونوز) هي بذاتها مكـونة من شـراكات صغيـرة تسمى « سينـوزيس » (هـ . غـامس ، 1918) تتحـدد ذاتيتهـا بـوحـدة المـظهـر الخـارجي . ودخلت مفاهيم عديدة ، كمية (كـالغزارة ، والغلبـة ، والتغطيـة ، الخ) ونـوعية (مثـل المؤالفة ، والحيوية ، والدورية أو الفصلية ، الخ) من اجل تحديـد الجماعـات المتشاركـة (خاصـة من قبل بـرون ـ بلانكت) . وأيضـاً ومن اجل تعميق المعـرفة بـالمظهـر الدينـاميكي (كليمانتس) ، يـرى كليمانتس ان الاتحاد أو التجمـع هو « وحـدة طبيعية » ، تشبـه النوع المصنف . أمـا الكليماكس أو حالة التوازن فتتوافق مع المناخ توافقاً ضيقاً .

ان الصلابة ، والتقنيـة ، والشكلانيـة أيضاً في مـدرسة زوريـخ ـ مونبليـه التي اقامهـا برون ـ بـلانكت ، والمدرسـة الاميركيـة التي أقامها كليمانتس قـد اثـارت المجـادلات الحـادة (ل . ج . رامنسكي ، 1924 ؛ هـ . أ . غليزون ؛ ل . برون ، 1950 ؛ ر . هـ . ويتـاكر ، الخ) . ومع ذلك فان اعمال برون ـ بلانكت وأعمال كليمانتس التي سيطرت على علم البيئة العالمي منذ نصف قـرن تبقى كمحاولات جميلة وخصبة في تفسير المزروعات .

ان علـم الاجتماع النباتي (فيتو سوسيولوجيا) ، وبوجه عام علم البيئة قد عـرفا نجـاحاً كبيـراً في العديد من البلدان منذ ما يقارب نصف قرن ، ولائحة علماء النبات الذين خصصـوا لهما قسمـاً ملحـوظاً من اعمـالهم ، طويلة جـداً فلا يتيسـر لنا ذكـرها هنـا . ان التوجـه البيئوي كـان له نتـائج اقتصادية مهمة حفزت بشكل خاص جهود العلوم التابعة مثل علم التربة (ك . مـورنسن ، 1909 ؛ هـ . غلينكا ، 1914) ومـاعدت بقوة العلوم الزراعية . وقد اشار لافرينكو بحق (سنة 1954) الى أن علم البيئـة الجغرافي التـرابي قد ولـد ليجيب على احتياجـات نهايـة القرن التـاسع عشـر : تقـويم الارض ، مقاومة الجفاف . وهو اليوم أحد العلوم الاساسية في نهضة البلدان المتخلّفة اقتصادياً .

التصنيفات المتعلقة بالشماخ ـ ان المحاولات الجارية من اجل تصنيف الانماط الكبرى من الشماخ أو التكيف ، بمعزل عن أي اعتبار تصنيفي ، كانت كثيرة العدد جداً . ولكن بعضها فقد استعمل بشكل واسع في البيوجغرافيا أو علم الأحياء الجغرافي .

قدم ك . رونكيار Raunkiaer (1934-1905) نظاماً بسيطاً ومتناسقاً للاشكال البيولوجية (حـول التكيف) تعمم استعماله في كل الدراسات الاحصائية للمزروعات ، بما فيها البلدان الاستوائيـة . وهذا النظام يرتكز على الاعتراف بمختلف درجات الحماية التي تتمتـع بها النبـاتات خـلال الفصل السيء . والدراسة الاحصائية لتوزع هذه الانماط المتكيفة مع المكان تتيح وضع الطيف البيولوجي لاشكـال المزروعـات . لقد ذكـر النباتيـون المسافـرون منذ زمن بعيـد أنه تـوجد عـلاقة بين حجم الاوراق والمناخ . وقرر رونكيار تصنيفاً اصطلاحياً سنداً لحجم الاوراق الذي يشكل اداة اضافية من

اجل تحليل المزروعات .

وكان هوغيه دل ڤيلار (1929) هو واضع تصنيف مفيد للنمط الايكولوجي أي البيئي مرتكزاً على المسكن : مفارقتان كبيرتان ، تجاور ظاهر أو أرضي وتجاور مائي ، خمسٌ وعشرون مرتبة من النباتات وفقاً للأوساط .

وصنف أ . روبل (1930) المزروعات إلى خيطية وعشبية ؛ آخذاً في الاعتبار الحجم ونسيج الاوراق ومظهرها ، والمسكن ، والاندفاعات ، وميز بين مختلف انماط الغابات ، والمزروعات العشبية والصحارى ، الخ .

واقترح دانسيرو (1951-1957) تصنيفاً مرناً لانماط المزروعات ، مرتكزاً على البنية وتحليلها ، ومستقلاً تماماً عن التصنيفية . وهذا التصنيف يتلاءم مع التعبير الرمزي بواسطة الرسوم ، واستخدم ستّ فئات من المعايير هي : الشكل البيولوجي ؛ قامة الافراد ؛ التغطية (المكان الذي يحتله كل الافراد ، ضمن المساحة المعتبرة ، وفقاً للاسقاط العامودي) ؛ الوظيفة ، شكل الاوراق وقامتها ، النسيج الورقي . ذلك هو منتهى تيار فكري يعود إلى همبولدت (1806) وكان هذا التيار ذا خصوبة عجيبة .

مفهوم « السينوزي » - ان مفهوم السينوزي (الشراكة) ، قد استعيد من قبل العديد من المؤلفين منهم ت . ليبمان Lippman (1934) ، وطبقه كين Caine ور . ت . بنفاوند Penfound (1938) على دراسة بعض الاتحادات الغاباتية .

هذان المؤلفان الاخيران يعترفان بوجود طبقات سينوزية في الغابة ذات الاشجار الكبيرة الحمراء (القيقب) في اميركا الشمالية : طبقة مشجرة ، طبقتان ذات شجيرات صغيرة ، وطبقة عشبية الخ . فالطبقات - وفكرة التميز بينها تعود إلى ر . هولت سنة 1881 - لكل منها مظهر واحد ، أو ، في نظام رونكيار ، لها نفس الشكل البيولوجي (اشكال بيولوجية ، وسينوزات ، تتسلسل هنا عامودياً) . ومفهوم الشراكة قد استعملة بقوة ب . و . ريشاردس (الغابة المطيرة الاستوائية ، 1952) .

دراسة النباتات الاستوائية - بذل جهد من اجل تطبيق المفاهيم والطرق المقررة في مجال « علم اجتماع النباتات » المأخوذ عن البلدان المعتدلة ، على البلدان الاستوائية . وكان هذا احد المظاهر الاكثر اصالة في علم الجغرافيا الاحيائية الحديث (س . أ . كين وج . م . دي اوليڤيرا كاسترو 1959) . وفي أغلب الاحيان (ج . تروشين ، 1940 ؛ ج . لوبران ، 1947 ؛ الخ) يُلجأ إلى أنظمة هوغيه دل ڤيلار Huguet de Villar ، وورنكيار ، من اجل تحليل المزروعات الاستوائية . والى فكرة برون - بلانكت وآخرين عاد العديد من العظماء المتخصّصين في علم النبات الاستوائي (كين ، ر . شنيل ، ج . مانجينوت ، ب . دوفينيوه ، الخ) .

ومن قبل هذه الحركة في البحث ، وعلى موازاتها ، تطورت جغرافيا نباتية استوائية أقل عقائدية ، انما ترتسم ضمن تراث انغلر ودرود . ومع ممثلين أمثال هـ . پرييه دي لاباثي ، أ .

شوڤالييه ، هـ . هامبورت ، أ . اوبرڤيل وأيضاً ت . مونود ، وكلهم علماء نبات أرض وعلماء بيئة ، اعطت الجغرافيا النباتية لفرنسا دوراً مهماً في هذا المجال .

توزع النباتات ـ ان علماء الجغرافيا النباتية قد اهتموا بالوسائل التي بواسطتها يتم توزيع السبورات أو البوغ ، بزورٌ ، أثمارٌ وغيرها من الغبائر (التي ليس لها شيء مشترك الا وظيفتها التي تؤمن التوزيع الانسالي أو الالقاحي) ، وبعضهم فضل أن يكرس نفسه لدراستها . وتدل أعمال هـ . ب . غوبي (1912) وهـ . ن . ريدلي (1930) التي ما تزال تعتبر كلاسيكية على الجهد الضخم المبذول والذي لم يلاق حتى الآن المتابعة التي يستحقها .

فمنذ حوالي عشرين سنة تمت العودة بحماس إلى هذا القطاع من البحث الذي هو أحد الفصول الأساسية في المنهجية الإحيائية . والتنوع الشكلاني للبزور وللأثمار يبقى غير مفهوم إذا لم ينظر إليه من منظور التطور والتكيف ، خاصة في ضوء الداروينية .

وقد جهد علماء البيئة في أن يميزوا فئات ملائمة لأنماط التوزع ثم صنفوها . ودرس ر . مولينيه وپ . مولر (1938) ، ثم پ . مولر (1955) الزرع ذا المكونات المتنافرة جداً في فرنسا الجنوبية . وقام دانسيرو وك . ليمس (1957) بنفس الشيء فيما خص بعض التشكيلات في كندا . وهكذا تم اثبات تقارير جديدة مهمة .

المسح الجغرافي النباتي (كارتوغرافيا) ـ ان نشأة هذا الفرع من العلم تعود إلى العمل المشهور الذي قام به ش . فلاهولت (1893) الذي انضج طيلة خمس عشرة سنة مشروع وضع خارطة نباتية وغاباتية وزراعية من مقياس 1 على مليون ، لفرنسا ، ولكنه لم يلاق سوى إساءة الفهم والتجاهل في الاوساط الرسمية ، رغم انه الح على جدوى هذا الموضوع بالنسبة إلى الاقتصاد الحرجي والزراعي . ففي مختلف البلدان وبتأثير مباشر منه وضعت خارطات نباتية في كل من : اسكتلندا (ر . سميث ، 1900) ، سويسرا (ر . پ . هاغر ، 1916) ، المانيا ، النمسا . وفي سنة 1911 قدم أ . شوڤالييه خارطة نباتية ، حرجية ورعائية لافريقيا الغربية الفرنسية التي بقيت الخارطة الوحيدة للنباتات لكل هذه المساحة .

منذ سنة 1900 قام مؤلف روسي هوج . ي . تافيلييف ، المتغذي بأفكار دوكوتشاييف ، برسم خارطة من السلم الصغير للنباتات في علاقاتها بالأنماط الوراثية للتربة ، ومغطياً كل روسيا . مع ج . ن . ڤيسوتسكي (1909) الذي أبرز العامل البيئي . عبرت الخارطة تركيبياً عن العلاقة البيئية ـ الجيولوجية . وفي العلاقة مع علم التربة وعلم الزهور ، ومعرفة الموارد النباتية واستثمارها ، أصبح علم الخرائط النباتية ، في الاتحاد السوڤياتي ، أحد الفروع الأكثر خصباً في النشاط النباتي (ن . ي . كوزنيتسوف ، أ . م . لاڤرينكو ، ڤ . ب . سوتشاڤا ، الخ) .

ويعود الفضل إلى ل . امبرجير (خارطة جغرافية نباتية للمغرب من معدل 1 على 500 000 ، 1936-1939) وإلى هـ . غوسن انهما اعادا الاتصال ، في فرنسا ، بالتراث الذي شَرَعَهُ فلاهولت . فتحت تأثير هؤلاء العلماء ، بدأ عمل ضخم بالاتساع ، عمل تركيبي جاء يتوج البحوث الجغرافية ، والبيئية والبيولوجية (پ . راي Rey ، 1960) .

إن أحد المشاريع القريبة الكبرى كانت الخارطة الجغرافية النباتية للعالم بمعدل 1 على مليون ولكن حتى الآن لم يتم الاتفاق على مبدأ صورتها (التي ارتآها سابقاً غوسن ولاڤرينكو) .

حيوية الجغرافيا النباتية ـ هناك العديد من المنشورات الاخرى التي لا نستطيع ذكرها تؤكد على الحيوية ، التي لا ينكرها أحد منذ قرن ونصف ، في مجال الجغرافيا النباتية . ولكن الجذب الذي يمارسه هذا المجال العلمي يعود أيضاً إلى انه قد اثار سلسلة من النظريات ذات الوقع الكبير ، انضم اليها رؤساء مدارس عظام .

إن نظرية ج . ك . ويليس (1917-1926) حول نشأة السطوح كان لها فضل ، ان لم يكن في حلّ ـ لأن سطح نوع ما قلّما يتناسب دائماً مع عمره ـ فعلى الأقل في طرح المسألة التي هي في أساس سلسلة من الأعمال . ان نظرية « النوناتاك » (nunatak) التي وضعها . ل . فرنالد ، المتعلقة بالنباتات ما قبل الجليدية في القطب الشمالي وبملاذاتها ، قد حفزت هي أيضاً البحوث . ان نظرية ويجينر حول طفاوة القارات هي في أصل تيار فكري حقيقي .

إن هذه النظرية التي خضعت لانتقادات العديد من المعارضين (ديلس ، دوريتز ، الخ) ودافع عنها بحماس عظماء الجغرافيين البيئيين (أ . ف . وولفّ ، ر . جانّيل ، الخ) والتي أعطت تفسيراً مغرياً للطريقة التي بها تم تمزيق النباتات اوتقاربها ، هي اليوم منبوذة[1] .

منذ ما يقارب من عشرين سنة عرفت الجغرافيا النباتية اهتماماً متجدداً . ان نشر الكتب الاساسية لوولفّ (1943) وكين (1944) ور . غوود (1947) قد تبعه نشر المذكرات المهمة التي وضعها ل . كروازات (1952-1958) ، وكتب دانسيرو (1957) ، وكين وكاسترو (1959) وكتاب ن . پولونين (1961) حول القطب الشمالي . ان هذا الازدهار في الدراسات المهمة يدل على أن الجغرافيا النباتية توشك أن تصبح علماً راشداً .

III ـ تصنيف المملكة النباتية

لم تنفذ الثورة الداروينية إلى تصنيف النباتات الا في أواخر القرن التاسع عشر ، مع ايكلر Eichler ومع انغلر Engler . في حدود 1900 ، عرفت البحوث النباتية الوراثية نجاحاً لم يسبق له مثيل ، انما خمد بالاستمرار ؛ فعلم الاحاثة النباتية كان يومئذٍ في عز ازدهاره ، واخذت عنه معطيات أساسية من اجل بناء ترتيبات جديدة منهجية . وسريعاً ما تسرب الشك إلى الاطر الكبرى في المملكة النباتية ، اطر لينّي واندليشر Endlicher وغيرهما ، فيما يتعلق بمعناها العميق بالنسبة إلى التطور .

واليوم ترفض المفارقة الكبرى اللينية حول النباتات اللازهرية ، وحول باديات الزهر ، على الاقل بمقدار ما ترمز اليه هذه القسمة غير المستويات الافقية للتطور ، مستويات اصيبت بسلاسل متنوعة ومستقلة وذات جذور غير معروفة .

---

(1) راجع الفصل الثالث من القسم الثالث .

وكـذلك مفهـوم الكورمـوفيت النباتي ، الـذي يغطي في نـظرنـا مجمـوعـاً كثيـر التنـافـر من النباتات .

إن نظرية هوفمستر (1851) اوحت بمجموعة طبيعيـة ذات اتصالات مستمـرة ومتدرجـة ، أي تحـديد النبـاتات ذات الرحِـم المتـطابقة مـع تحديـد الكورمـوفيت ؛ وهو تصـور عمـل اكتشـاف الطحلبيات ذات البزور على تقويته ، وذلك يمـد جسر بين اللازهريات وباديـات الزهـر الوعـائية . وكان لا بد من العودة عن هذه الاندفاعات المستعجلة . اذ لا يوجـد أي رابط تنازلي أو سـلالي بين البريوفيت والنباتات الوعائية ، ولا حتى بين البتير ودوفيت وعاريات البذور وكاسيـات البذور ، على الاقـل اذا اكتفينا بـالانواع الحيـة . ان البتريـدوسبرم تـظهركصـفُ قـديم جـداً (العصر الـديفـوني الجوارسي) الذي يوازي صـفّ الطحالب ويتميـز عنه تمـاماً . ان مفهـومي الاشنة والفـطر ، وعلى العموم كل النباتات التي ليس لها ساق تعبر أيضاً عن مستويات تطور لا عن توالدات تطورية .

في كل المجالات التصنيفية اضطر البحث الحديث المهتم بالقرابات وبـالاصول إلى تجـزئة المجموعات ، وإلى إحداث اعادة ترتيب واسعة ؛ وقد اضطر البحث الحـديث أيضاً إلى التخلّي ، ولو مؤقتاً على الاقل ، عن الطموح الطوباوي الرامي إلى التعبير عن التطور في عـالم النباتـات بغير الخطوط المتوازية المتجزئة .

وحتى لا يحدث ارباك في الأعـراف كبير ، فاننا نذكر هذا النشاط ، مع تقطيعه أحياناً بشكل كيفي قليلاً . فننظر على التوالي إلى الحزازيـات (بروبـوفيت) وإلى السرخيـات (بتيريـدوفيـت) وإلى السبـرمـاتـوفيت ، جـامعين فيمـا بعـد الفئـات الاخـرى تحت عنـاوين علم الـطحلبيـات (الفولوجي) ، وعلم الفطريات (ميكولوجي) .

1 ـ الحزازيات

كمـا ذكر ب . و . ريشاردس ، إذا كانت مجمـوعة الحـزازيات ، بـدون فائـدة اقتصاديـة ، والمتمثلـة باختصار بحالة التحجر ، قد اهملت في الثلث الاول من هـذا القرن ، فهي تؤثـر اليوم تـأثيراً جـاذبـاً على علمـاء البيئـة الـذين ينـظرون بعين أفضـل إلى غـرائبهـا الشكليـة والبيـولوجيـة والفيزيولـوجية ، مـع اقتناعهم شبـه الاجماعي بفشـل النظرة التـطورية التي كـانت تمثلها مجمـوعة الحزازيات هذه في الماضي .

إن القسمين الكبيرين الأشـنة (مـوس) (والتي وضعت أسسها التصنيفيـة من قبل م . فليشـر وف . بروتيروس ، 1920-1925) والكبديات ، قد قسمتا إلى خمـس مراتب من قبـل ديكسـون وف . ڤيردورن (الدليل البريولوجي ، 1932) هي : الاسفغنيات ، الأندريات ، البريال ، بالنسبة إلى الاشنات ، ثم الهيباتيكال وقرينات الزهر في الكبديات .

إن المسـار الحديث لـلافكار يبـدو وكأنـه يستلزم التغيـر الضخم في هـذا التصـور . وبعض المؤلفين رفعوا إلى رتبة الصفّ قرنيات الزهر، أو الاسفغنيـات، ولكنهم قلما اتبعـوا في رأيهم هذا. ووقعت احداث جديدة بعد ذلك منها : رهافة البحوث وتكاثرها ، تجـدد المناهـج (اعمال خلويـة

قام بها و . ك . ستير ، 1958 ؛ س . تاتانو) ، اعادة تقييم السمات واكتشاف نباتات جديدة . لا شك ان اصحاب المناهج قد اعطوا أهمية تصنيفية كبيرة لنمط تناول الاجيال ، باعتباره كأساس في وحدة المجموعة ، مهما كان تشتتها . والقرابة بين الاشنات والكبديات (هـ . ن . اندروز ، 1961) ، ليست افضل من القرابة المعترف بها بينها وبين مختلف اعراق اللازهريات الوعائية . في خطوة أولى تم الاعتراف بعرقين : النباتات الكبدية (هياتوفيت) ، والحزازيات (البريوفيت) (هـ . ك . بولد ، 1957 ؛ اندروز) . وهناك استعداد للقيام بخطوة ثانية يمكن أن تكون الاعتراف بخمس شُعب (و. ك. ستير، 1960) .

ونعرف اليوم حوالي 25 الف نوع من الاشنات وما يقارب 350 نوع من الأسفغنيات (Sphaignes) و 10000 كبدية . ولكن الجردة تتكامل وتتابع ، موسومة في بعض الاحيان باكتشافات ، كمثل اكتشاف « كريبتوتالوس » وهو كبدي رمّي [يعيش على حساب مواد عضوية متحلّلة] ، وكاكتشاف نوعين من المارشنتيال في نيوزيلندة وأستراليا (1954-1956) احدهما يمثل بمفرده عائلة جديدة .

2 ـ السرخسيات

تعتبر السنوات 1900-1902 معلماً بفضل نشر الدراسة المتخصصة حول السرخسيات في موسوعة « فلانزن ـ فاميلين » وأعمال أ . ك . جيفري حول المورفولوجيا أو علم الشكل وحول تشريح النباتات الوعائية . والجهد الضخم المبذول في أواخر القرن التاسع عشر ، الذي قام به علماء تشريحيون وشكليون ، وعلماء احاثة ، ظهر في التركيبة التي قام بها انجلر وبرانتل ، والتي تثبت التعقيد التصنيفي الخاص بمجموعة من النباتات تكون فيها المتحجرات ذات عدد مرتفع بصورة استثنائية . وبذات الوقت ادخل العالم التشريحي الاميركي الكبير جيفري تفريعاً أساسياً ، مرتكزاً على هندسة النبتات : انماط ذات اوراق صغيرة أو ليكوبسيدا (ليكوبود ، أكويزتوم) ، انماط ذات أوراق كبيرة أو بتيروبسيدا .

وقد حاول غوبل في السابق ، على أساس بنية النسيج الجيبي « المولد للجيوب » ان يقسم النباتات الوعائية إلى « لبتو » وإلى « أو ـ سبورنجيه » أي حبيبات كبيرة وحبيبات صغيرة . وكان جفري مأخوذاً بنفس الطموح الضخم ، فوضع ضمن « البتيروبسيدا » ، ومعها الطحالب ، عاريات البزر وكاسيات البزر (وكلها في نظره نباتات ذات سلالة طحلبية) . وطور هذا التصنيف من قبل ج . ب . لوتسي (1909) ، وفتحت اعمال جفري ، التي تدعو إلى وجود سلسلتين كبيرتين من النباتات الوعائية ذات الاصول القديمة جداً ، طريقاً ذا أهمية استثنائية ، ادى إلى فصل كورموفيت انdليشر ، وخاصة الى تجزئة السرخسيات القديمة . وفيما بعد تم تحديد البتيروبسيدا ، وقصرها على الطحلبيات فقط .

في سنة 904 بين لينيه Lignier ان الاسفينيات المتحجرة والايكويزيتال (بريل ، ذيل الحصان) تشكل مجموعة طبيعية سماها « المفصليات » (وهي ما نسميه سفينوبسيدا) . وهكذا تخلصت ليكوبسيدا من مجموعة أصبحت مساوية لها من حيث الرتبة . وبذات الوقت تقريباً تم

التعرف على صنفين آخرين من رتبة مساوية هما : بسيلوتال (م . ج . سيكس ، 1908 ؛ لوتسي) وبسيلوفيتال (ر . كيدستون وو . هـ . لنغ ، 1913) ، أو بسيلوتوبسيدا وبسيلوفيتوبسيدا (وهذه الطبقة قد انقرضت) بحسب ترقيمنا . هذه الشعب الخمس مقبولة على العموم في ايامنا . وتقدر اعداد الانواع التي تؤلفها بسبعة الاف (ك . كريستنسن ، اندكس فيليكوم وملحقاته 1905-1933) ، في حين ان ليني لم يعد فيها الا مئتين .

إن اعمال بوير (1923-1928, 1935) ، وو . لينيه (1900-1912) قد امالت البحوث المنهجية ، في حين ان كتب علم الاحاثة النباتي التي وضعها د . هـ . سكوت (الطبعة الثالثة ، 1920-1923) ، وم . هرمر (1927) كان لها تأثير ضخم على تطور علم السرخسيات ، أو النباتات المجنحة . ان بحوث ي . مونتون حول علم الخلايا فيما خص البتيريدوفيت أو السرخسيات ، والاعمال الاحاثية النباتية التي قام بها أ . ن . كريشتوفوفيتش ، واعمال ج . اردتمان حول البوغات ، كلها تدل على مدى ابعاد التقدم . نذكر ، فيما خص تصنيف الفصائل والانواع ، ان الاطر تبقى الاكثر تموجاً .

3 ـ سبرماتوفيت أو النباتات ذات البذور

في اميركا ، لقيت الرسيمة التي وضعها و . تيبّو Tippo (1942) والمرسومة سنداً لأعمال جيفري ، وآ . ج . إيمس (1936) وج . م . سميث (1938) خطوة كبيرة . فقد قسمت فيها المملكة النباتية إلى قسمين : تالوفيت (عديمات الساق) (كل اعراق الاشنات والفطور) ونباتات جنينية (حزازيات ، والتراشيوفيت) . والتراشيوفيت) . هذا التصور الذي يعتمد مفهوم بتيروبسيدا عند جيفري ، محا حتماً هكذا الحدود مع السبرماتوفيت ، واصطدم بمعارضة العديدمن النباتيين الأوروبيين الذين يظنون امثال ر . أ . ج . بيشي سرمولي (1959) ان التصنيف القديم إلى حزازيات ، سرخسيات وسبرماتوفيت يبقى هو الأفضل .

إن مفهوم سبرماتوفيت قد اعتمد ليحل محل مفهوم الفانيروغام ، فقد تقرر ان نباتات قد وجدت في الفحمي ، « كاربونيفيز » (والذي يمتد ، في الواقع من العصر الديفوني إلى الجوارسيك) هي البذريات المجنّحة ، التي تربط الفانيروغام إلى كريبتوغام الوعائية . وبعدها قل الاجماع حول تأويل بذرة البذريات المجنّحة (هـ . ن . اندروس ، 1948 ؛ د . آ . جوهانسن ؛ هـ . ج . لام) .

جيمنوسبيرم (عاريات البذور) ـ اعترف انغلر (1897) ، بعد النظر الى المتحجرات ، بست مراتب السيكاسيات ، البنتيات ، الجنكيات ، الكورديات ، المخروطيات ، الرجرجيات . وكانت هذه خطوة كبيرة أولى منذ ايكلر (1889) الذي لم يكن يأخذ إلا بأربع فصائل هي : السيكاسيات ، الكورديات ، المخروطيات ، الرجرجيات . في سنة 1899 ، اقترح لوتسي Lotsy رفع مجموعة الرجرجيات إلى مرتبة تساوي مرتبة عاريات البذور : وفي هذا اعتراف بأول تفارق أساسي ، وجود عرقين متمايزين على الأقل .

اعتقد ك . شمبرلين (1935) بوجود عرقين كبيرين عرق السيكاسيات ويتضمن البذريات المجنّحة أو سيكادوفيليكال (السراخس السيكاسية) مع أوراق ريشية من نمط الخنشار ، وعرق كونيفيروفيت (ويتضمن بصورة خاصة الرجرجيات والجنكيات) .

هذه الرسيمة سبق وكانت رسيمة النباتي الاحاثي أ . و . بيرّي (1918) الذي اضاف عرق بتيريدوسبرموفيت . انها أيضاً الفروع الثلاثة التي قال بها لام (1960) ، ولكن هذا المؤلف استبعد البذريات المجنحّة من السبرماتوفيت . ان نظام جوهانسن (1951) المشتق من نظام ك . آ . آرنولد (1948) يتضمن خمسة عروق : البذريات المجنحّة ، السيكاسيات ، الجنكيات ، الخرطوميات ، العقوديات .

وهكذا توضح التطور بصورة تدريجية نحو تفتت في الجيمنوسبرم القديمة . واقترح امبرجر (1942-1960) جمع وعزل السبرماتوفيت على حدة ، تحت اسم بريفانيروغام ، مجموع من مجاميع منفصلة عن الجيمنوسبرم : بتيريدوسبرم (بذريات مجنحّة ، كيتونيات ، سيكاسيات) وكورديت (كورديات ، جنكيات) . هذا التصور الذي يرتكز على الواقعة بأن البويضة ، في هذه المجموعة ، لا تتحول إلى بزرة ، قد اصطدم بانتقادات حادة جداً (ب . مارتنس Martens ، 1951) .

واستمر الميلُ التفتيتي : في سنة 1920 ، أثبت ب . ساهني ، بعد ج . م . كولتر وشامبرلين ، تشتت الكونيفرال ، وهي رتبة سوف تقسم إلى خمس . هذا الترتيب ، استعاده امبرجر ، ولم يقبل من قبل مدرسة غوسن Gaussen .

وركزت الاعمال الجنينية التي قام بها ج . ت . بوكهولز (1929) ، وكذلك كتابان مهمان لكولتر وشمبرلين (1917) ، ولشمبرلين (1935) على دراسة الاعضاء التناسلية وعلى تأويلها .

منذ 1930 قدم السويدي ر . فلورين مساهمة لم يسبق لها مثيل تتعلق بالمسائل الاكثر اثارة للجدل حول بنية الجيمنوسبرم الحية والمتحجرة : أنماط المسام ، تفسير المخروطيات الانثى في الكونيفير ، بحوث حول الكورديتال ، إذ بيّن انها خاصة بالعصر الپاليزوييك وتمثل قاعدة (آرومة) الكونفيروفيت .

الكاسيات البذور (انجيوسپرم) - رأى المنصف الاميركي ج . هـ . م . لورنس (1951) ان خمسة أنظمة تطبق بشكل واسع في أيامنا (بنتام وهووكر ، أنغلر ، بيسّي ، هوتشينسون ، تيپّو) ، والانظمة الاخرى تشتق منها بصورة مباشرة نوعاً ما . وجميعهم ، منذ انغلر ، هم من انصار النسالة (phylogénie) ، على الاقل بالفكر . وقد جهدوا في توزيع النباتات إلى مجموعات طبيعية على أساس التطور . الواقع ، ان رسيمة فجة تَقْصُرُ على اثنين تيارات الفكر ، التيار الاول انطلق من ايكلر - انغلر ، والآخر ، صادر عن بنتّام وعن تيپّو . وهذا التيار الاخير لا يهتم بالتحليل التصنيفي لكاسيات البذور ، بل بمجمل المملكة النباتية خارج المشريات ؛ وأصل النباتات الوعائية ، وخاصة كاسيات البذور (انجيوسبرم) (عنصر من پتيروبسيدا) مذكور فيها ضمن پسيلوفيت (العصر الديفونيان) ، فكرة انطلقت من نظرية ليني‍يه Lignier (1904-1912) ، واخذ الكثير من المؤلفين

برفضها (مارتنس ، 1950 ؛ س . لكلرك ؛ م . شاديفو)

إن نظام انغلر (راجع المجلد III) الذي يتمسك به آ . ب . رندل (1904-1925) ، ر . فون وتستين ، آ . پول Pulle ، ك . سكوتسبرغ (1949) يحتفظ بأهمية عملية أولية ، لانه يبقى في أساس ترتيب المعشبات الكبرى وغالبية المجموعات النباتية . إلا أن العديد من مبادئه قد رفض ، أن فكرة « الجيمنوسبرم » الجدودية ، وفكرة التقليد القديم القائل بنباتات ذات ازهرار (آمانتيفار) ، فكرة السمة الأصلية للالقاح بواسطة الهواء ، هي مجرد فرضيات تبدو اعتباطية بصورة متزايدة (ك . روبرتسون ، 1904 ؛ أ . ن . آربر ، وج . باركن ؛ ي . و . بايلي ، 1952) .

إن نظام الأميركي ك . أ . بيسي (1894-1915) ، الذي يتعارض مع النظام لسابق ، قد طبع بقوة اتجاه الفكر التصنيفي . وفيه ترى الزهرة البدائية وكأنها حَشَرية التلقيح المزدوجة الجنس ومزودة بكم (غلاف الزهرة) . يعتقد بيسي بنظرية الكوز (ف . و . بوير) ، وبموجبها تمثل النبتة الوعائية الاصلية كوزاً كاملاً ، محوراً رئيسياً يحمل متتالية من الاوراق المصفوفة بشكل لولبي ، وبعضها مزود باعضاء تناسلية . وتمثل « رانال ـ ماغنوليال » ، في مثل هذه الحالة ، المركبَ الجدوديَ الموروث الذي اشتقّ منه العرقان الرئيسيان ؛ وحيدة الفلقة وثنائية الفلقة . اما تصور هـ . هالِيّهْ (1905) ، القريب من التصور السابق ، فانه يضع في الاساس الماغنوليال والبربريسيات : وفيه الكثير من التقادير الجديدة .

وينضم إلى بيسي أيضاً الانكليزي ج . هوتشنسون الذي عرض في كتابه « عائلات النباتات المزهرة » (1926-1934) ـ دون أن يبرر ـ مبادىء تصنيف جريء ، يوزع العائلات إلى عرقين ، الاول خيطي ليفي ، والثاني عشبي ، والاثنان متفرعان عن نفس الارومة المفترضة وهي پرو ـ آنجيوسپرم . انه الرجوع إلى الثنائية القديمة السابقة على ليني Linné ، والتي ترتدي فيها سيطرة هوتشينسون Hutchinson مظهر المراهنة . ولكن وراء هذا « العرض الصدامي » ، كان هناك عمل وقف أمامه علماء النبات متأثرين .

فوضعت تصنيفات جديدة بعد ذلك ، خاصة تصنيفات آ . ل . تاختاجان (1954) وتصنيفات ل . امبرجر (1960) ، الاولى أحادية العرق ، والأخرى تعددية الاعراق ؛ والاثنتان تفترضان ، كتصنيف تيپو ، ان منشأ النباتات الوعائية انطلق من النباتات الجرداء . ويمتاز نظام امبرجر بطموح محدود .

كتب هذا المؤلف بحق فقال : « الكثير من المؤلفات تعرض المنهجية كما لو أنها نشأت كاملة ، وكما لو انه لم يبق أمامنا أي شيء نكتشفه ، لفرط كمال البناءات الانسالية فيها . في حين ان الواقع مختلف تماماً ، وهذا ما يجب قوله : اننا لا نعرف الا الفروع الرئيسية من الشجرة العائلية ، وبعض عناصر تفريعاتها ؛ وروابط موقع الفروع من المرتبة العليا بالنسبة إلى غالبية المجموعات المنهجية ما تزال مجهولة » .

إن تكاثر التصنيفات المقترحة من جانب المؤلفين المختلفين قد يوحي بأننا موجودون في مجال حدسي حيث لا يوجد للعلم ممسك . الواقع ان علم التصنيف ، مهما بدا مقصراً أو مخيباً

للآمال ، فإنه لم ينفك يتطور تبعاً للانجازات الحاصلة خارجه (الاحاثة النباتية ، علم الخلايا ، علم الاجنة ، علم الانسجة ، علم الوراثة ، البيوكيمياء ، الخ) وقد شاهد القرن العشرون بعضاً من هذه التطورات الاكثر بروزاً .

في الفترة 1934-1941 ، اكتشف آ . ك . سميث في جزر فيجي نوعاً من مستترات البذور قديمة جداً سماها ديجنيريا (ديجينيرناسي ، مرتبة الرانال) . وكان هذا الاكتشاف نقطة انطلاق لاستقصاءات معمقة حول البنية النباتية في الرانال ، من قبل مدرسة هارفارد تحت ادارة ي . و . بيلي (1942-1951) . واثبتت أعمال موازية سلسلة تطورية متعلّقة بالايتامينات أو السداة (عضو الذكورة ، ج . أ . كانرايت ، 1952) . رسمت هذه البحوث تاريخاً مهماً في علم تشكل الازهار . فضلاً عن ذلك ان المعطيات الجديدة التي تتناول الغاميتوفيت ، حول البوغات ، والافرازات والبروتينات الموجودة في الحشوة الخلوية ، تدل على وجود حقول عديدة يجب اكتشافها . ويبقى أيضاً الكثير من الأمل لجهة البحث عن مهاد جديدة للنباتات المتحجرة ، واستكشاف النباتات غير المعروفة جيداً ؛ وهكذا منذ سنتين تم وصف خمسة وعشرين نوعاً جديداً من اشجار القهوة البرية (ج . ف . لوروا) .

إن حيوية علم التصنيف فيما يتعلق بالسبرماتوفيد (النباتات ذات البذور)، وخاصة الكاسيات البذور قد عبّر عنه بنشر سلسلة من الكتب من النوع الممتاز (آ . غوندرسن ، 1950 ؛ ج . هـ . م . لورنس ، 1951 ؛ أ . ل . كور ، 1955 ؛ أ . و . سنّوت ، 1955 ؛ ل . بنسون ، 1957 ؛ بورتر ، 1960 ؛ امبرجر ، 1960 ؛ الخ) .

4 ـ علم الطحالب (الغولوجي)

إن الاعمال المهمة التي حققت بين 1940 و 1880 من قبل آغارد ، كوتزنغ ، ج . تورت وأ . بورنيه (1878) ، الخ . وضعت الاسس التي سوف يُبنى عليها علم الطحالب الحديث الذي سوف تكون انجازاته ممتازة بشكل ملحوظ . ومنذ الربع الأخير من القرن التاسع عشر أتاحت الشروط التقنية والمنهجية لهذا العلم المرتكز بصورة أساسية على خصائص خلوية وبيوكيميائية وعلى نماذج الجنس والدورات التطورية ، ان ينهض نهضته . إلى هذا المنعطف تضاف ، بشكل حاسم اسماء ك . ج . ف . شميتز ، وج . برتهولت ،وج . كليبس . وقد سبق ان انطلقت تيارات بحوث حول تتالي الاجيال وذلك بفضل ج . رنكي ، ب . فالكنبرغ ، ج . ل . وليامس . ومنذ سنة 1904 نشر ف . اولتمنس كتابه حول « المورفولوجيا والبيولوجيا عند الطحالب » في حين ظهر بين سنة 1889 و 1924 في بادو كتاب « سيلوج الغاروم » للمؤلف ج . ب . ديتوني وهو موسوعة ضخمة ومفيدة جداً .

وفي نصف قرن من الزمن سوف تتحقق انجازات مهمة عديدة في كل المجالات الفيزيولوجية (التغذية ، التنفس ، التركيب الاشعاعي ، الترسبية الخلوية ، الظاهرات الكهربائية) والبيولوجية (التناسل ، التصنيف ، النمو ، التكيف) . وفيما يتعلق بالمنهجية وبالتطور سوف يحدث تجدد كبير عميق في الأفكار : تجسّدت المفاهيم الحالية التي انبثقت من أعمال شرفيل وبوهلن ولوتر

وبلاكمان ، في مطلع القرن ، وذلك بفضل باشر ، ثم تُرجمت في نظام فريتش (1935) وج . م . سميث (1938) : وبعد ذلك تفتت الفرع القديم ، فرع التالوفيت (اندليشر Endlicher ، 1840) .

ويُعتقد اليوم ان المجموعات الكبرى من التالوفيت هي عروق طبيعية ، أحياناً معزولة تماماً ، ويدون ذرية حتى . وقد لقيت هذه الافكار ، المكرسة في أوروبا بفضل م . شاديفو ، 1960 ، في اميركا ، استقبالاً ترحيبياً (پاپن فوس ، 1946) . وفَصْل اندليشر لم يفقد أهميته ، كحدٍ بين الارشيفونيات (اطار يتلاءم مع اطار الكورموفيت) .

فضلاً عن ذلك ساد الظن في الماضي ان نباتات ذاتية التغذية،كالطحالب يُفترض أن تكون أول المخلوقات على الارض وان مجموعة الفطريات ، المعتبرة كفرع ثانوي ، تتحدر من الطحالب بعد ان تفقد الكلوروفيل . وحتى سنة 1912 عبر نظام انغلر عن هذه الفكرة حول وحدة التالوفيت ، والاحكام الصادرة حول تحدر الفطريات هي اليوم اكثر دقة : فهذه الاجسام تتوزع هي أيضاً إلى عدة فروع يمكن أن تكون معزولة ومستقلة . وبعض علماء الخلايا يذهبون إلى حد الاعتقاد بأن الفطريات تمثل مملكة متميزة عن مملكتي الكائنات الحية ؛ وآخرون يقيمون علاقات مع الطحالب الحمراء والطحالب السمراء ؛ وهذا مجال من الفرضيات غير مضمون .

ومن وجهة النظر الوراثية ـ النباتية ، اتاحت البحوث حول الملونات تبين الشبه التلويني بين الطحالب الخضراء والنباتات العليا (هـ . هـ . سترين Strain ، 1944) ، ثم تقوية الاطروحة حول الأصل الكلوروفيسيني للنباتات العليا .

ومستفحص مسار معلوماتنا على مستوى شعب أربع ، حسب وجهة نظر م . شاديفو .

الطحالب الزرقاء أو شيزوفيكوفيت ـ انها/تشكل مجموعاً مؤلفاً من ألفي نوع ، مستقلاً تماماً ، فلا وجود للخلايا السوطية ، ولا وجود للنواة الخلوية المنتظمة ، نمط من الصبغ خاص ، انتاج خلايا خاصة ، تناسل جنسي غير معروف ؛ ان تقدم التقنيات في مجال التربية الزراعية الخالصة قد أتاح تربية أنواع كوكودية وخيطية فوق وسط معدني ، وبعض الانواع تتمثل بصورة مباشرة الآزوت من الفضاء ، (س . ر . هوڤر ، 1936 ؛ ف . أ . أليسون ، هـ . ج . موريس Morris) .

إن استقلالية المجموعة قد عُرفت من قبل أغارد سنة 1824 ، ومنذ 1854 ذكر ف . كوهن وجود قرابة بين هذه الاجسام والبكتيريا . في سنة 1880 أوجد هذا العالم كلمة شيزوفيسي للدلالة عليها . وهي تشكل مع الشيزوميسيت (بكتيريا) الفرع من شيزوفيت انغلر . استبعد هذا التصور الوحدوي الذي يبدو صالحاً حتى الآن . ان احدى المساهمات الرئيسية في المعرفة التصنيفية لهذه النباتات قدمتها أعمال پ . فريمي ، ول . جيتلر (1925-1942) التي تنبثق عنها أعمال آ . آ . النكين وفريتش . وميز شاديفو ، كما فعل فريتش ، بعد ان ارتكز على السمات المتعلّقة بالجذع ، وبالبوغات وبالأكياس المتباينة بين خمس مراتب . في حين ميز النكين Elenkin بين اثنتي عشر ، وقال آخرون بوجود ثلاث مراتب فقط .

الطحالب الخضراء أو كلوروفيكوفيت ـ في هذا الفرع الضخم (6 إلى 8 آلاف نوع) ، الذي ينمو في المياه العذبة يبدو التنوع المورفولوجي أو الشكلي والايكولوجي أو البيئوي غنياً إلى

أقصى حد . فبعض الانواع هي وحيدة الخلية ومتحركة ذاتياً (كلاَمي دوموناس) أو غير متحركة (ديسميدي) ، وأخرى مستعمراتية (ڤولڤوكس) أو ليفية (أودوغونيوم) ، كونوسيتيكية (كوديوم) أو غشائية (اولفيس) .

في أواخر القرن التاسع عشر ، وعلى أثر ستيزنبرجر ، ورابن هورست ، جرى الاعتراف عموماً بأربع مراتب من الطحالب الخضراء هي : بروتوكوكوايدي (بما فيها أوغلين) ، كونجوغاتي ، سيفوني ، كونفرفويدي . في سنة 1895 ، جمع الإيطالي أ . بورزي عدّة أصناف مشتتة حتى ذلك الحين داخل عدة فصائل من الطحالب الخضراء وألّف منها مرتبة كونفرڤال المتميّزة بأنماط من الصبغ ومن الأهداب وبالاحتياطات (التي ليست من النشاء) . وفي سنة 1899 ، بين آ . لوثر انه في هذه الاصناف تحتوي السبورات الحيوانية هدبتين غير متساويتين مهما كان مستوى تطور الجذع ، واقترح سحب كل هذه النباتات من الطحالب الخضراء التي أوجد لها طبقة هيتيروكونتي (كزانتوفيس دي آلورج ، 1930) ، وهو عنصر مستقبلي في الكريزوفيكوفيت . وفي سنة 1900 دعم ف . ف . بلاكمان ، بنظريته حول الميول النباتية ، هذا المفهوم ، وجهد في اثبات التوازي الملحوظ في تطور الجذوع لدى الطحالب الخضراء ولدى الهيتيروكونتي . وبين التماثل في نمط الملوّن بين هذه وبين الڤوشيريا ، المعتبرة كطحالب خضراء . في سنة 1901 حاول بوهلن ان يوضح مختلف السلاسل التطورية ، ابتداءً من الأرومات الهدبية ؛ وبجرأة أوجد مرتبة الڤوشيريال داخل الهيتيروكونتي . وهي وجهة نظر لم تتم الموافقة عليها الا بعد نصف قرن . وفي الاخير أقر بلاكمان وآ . ج . تانسلي (1902) ، ثم ج . س . وست (1916) نظاماً فيما خصّ الكلوروفيسي ، يرتكز على أربع مجموعات تتمثّل إحداها بالهيتيروكونتي ؛ فضلاً عن ذلك عادت الڤوشيريا لتصبح من جديد من الكلوروفيسي .

وأدت أعمال كليبس (1883-92) إلى جعل الاوغلينات مرتبة من السوطيات أو الهدبيات . أما باشر (1931) فأعطاها صف العِرق الخاص ، ومن الجدير بالذكر أن هذه المجموعة من الطحالب تمثل تشابهاً وتقارباً مع البيروفيت التي يضمها شاديفو (1960) إليها .

وصنف علماء الطحالب الأولون ضمن صنف واحد اللصوقات والمشطورات . وفيما بعد ، وبعد اكتشاف القرابة بين ديسميديات مع سبيروجير ، اضطر العلماء إلى فصلهما (كوتزن Kutzing، 1833) . وأوجد شاديفو فرعاً خاصاً لهذه الطحالب التي تتناسل جنسياً عن طريق التزاوج والتي يُعزى اليها عموماً مستوى المرتبة أو ما دونه . أما الدياتوميات ، فبعد أن الحقت بالفافيسيات (مع باشر 1914) فقد عثرت على مكانها الحاضر داخل الكريزوفيسيات . ان مجموعة شارا تطرح مسألة لمّ تحل . ويميل علماء الطحالب الحديثون إلى دمجها ضمن مجموعة الطحالب الخضراء وجعل منها فريتش واحدة من تسع مراتب دخل الفرع . ولكن التكوين الغريب لهذه النباتات المائية حمل بعض الباحثين منذ و . ميغولا (1890) على الاعتقاد بأن الكاريات والعائلات المتحجرة القريبة منها تمثل عِرقاً واحداً .

الطحالب السمراء أو الكروموفيكوفيت ـ على العموم تُعتبر الكمّية الضخمة من هذه

الطحالب (16 ألف نوع موصوف كلها تقريباً بحري) موزّعة إلى عدة مجموعات طبيعية : فاوفيكوفيت ، كريزوفيكوفيت ، پيروفيكوفيت . ويوجد مع ذلك بين هذه الطحالب بعض القرابة : خلايا سابحة حاضرة عموماً ، انماط من الهُدُب (ج . ديفلندر ، 1934 ؛ ي . مونتون . وب . كلارك) وصبغ واحتياطات (لا وجود للنشاء الحقيقي) . وهي تتمثل هنا برتبة فرع ثانوي .

لقد اتسم تصنيف الفاوفيسي أو الطحالب السمراء ، بالمعنى الضيق ، بأثر اعمال هـ . كيلين (1917-1933) وفي السابق ارتكز هذا التصنيف على البنية وعلى اسلوب التناسل . وبفضل كيلين تم التعرف على مراتب جديدة واصبح مفهوم التناوب بين الاجيال ، معيار المفصليات الكبرى . ولقي هذا النظام الترحيب القوي وهو ما يزال قائماً الآن . ويوجد الآن من إحدى عشر إلى اثنتي عشر مرتبة من الفاوفيسيات .

إن معرفتنا المنهجية بالكريزوفيسيات مدينة كثيراً إلى ف . ڤون ستين (1878) ، أ . ليميرمان ؛ ج . سين وخاصة كليبس (1892) الذي حدد سماتها الرئيسية . وعلى كل ان العالم بالبروتيستات [وحيدات الخلية] الكبير آ . پاشر هو الذي وضع التصنيف الحديث لمجموعة كريزوفيسي ، وباسيلا ريوفيسي (دياتوميت) . وفيما بعد لقد ثبت ووسع تصوره الذي أصبح الآن مقبولاً بوجه عام . ومن جهة أخرى ، استعاد پاشر وطور افكار بلاكمان (1900-1901) وافكار آ . شيرفل حول السلاسل التطورية الموازية المنبثقة عن جدود من الهدبيات . وقد نصّب نفسه المدافع عن افكار باهرة مثل الاصل الكريزوفيسيني في الحياة الحيوانية ، بعد خسارة في البلاستات والأهداب . ومنذ زمن بعيد تمت الموافقة (ج. غرونو، 1860 ؛ و. كرشنر ؛ ف. شوت، 1896) على قسمة المشطورات إلى فئتين كبيرتين طبيعيتين (مركزية وهامشية) المرتكزة على تناظر الاجسام . ان پاشر هو الذي كشف القربى بين المجموع . والتعديلات الحديثة في تصنيف الكريزوفيسي الذي قال به پاشر (پ . بوريلي ، 1957)، واكتشافاته حول التعاطي الجنسي (ستوش ، 1951-1954) تدل على ان الكريزوفيكوفيت ما تزال غير معروفة تماماً .

إن الفيروفيسي أو الدينوفيسي هي طحالب وحيدة الخلية ذات لون اسمر ذهبي أو ميال إلى الاخضرار ، تتميز في أغلب الاحيان بأهداب بطنية ذات ترتيب خاص وبنية فريدة في النواة ؛ والتناسل الجنسي فيها غير معروف الا في نوعين . وعرف كلبس Klebs (1883-1892) منها سمات أساسية ثم بين وجود أشكال منها متحركة (1912) . وكشف پاشر عن قرابة بين عدة مجموعات وأسس مجموعة البيروفيت (1914) . ودل مجموع مهم من البحوث البيولوجية والمنهجية (ك . آ . كوفويد Kofoïd ، الخ .) على الاهتمام الموجه إلى هذه الاجسام . ولكن بعض المجموعات منها ما تزال مكتنفة بالغموض .

الطحالب الحمراء أو رودوفيكوفيت ـ في هذه الطحالب يقنع الكلوروفيل بصبغ بروتيني قابل للذوبان في الماء ، هو الفيكوريترين ، وأحياناً بصبغ آخر هو الفيكوسيانين . انها اجسام جذرية وحيدة الخلية احياناً منتشرة كثيراً في البحار الحارة . واشكالها العليا ، معقدة جداً ، تتفرد بأساليبها وطرقها التناسلية : فلا خلايا هُدبية على الاطلاق ، جهاز تناسلي انثوي ضمن تنظيم

معقد ، دورات غالباً ما تكون من نمط جديد .

إن الترتيب المنهجي لهذه الطحالب (حوالي ثلاثة آلاف نوع) إرتكز في القرن التاسع عشر على أعمال أغارد Agardh (1842) . ومع ك . ج . ف . شميتز (1883) ، والاعتبار الموجه نحو علم الاجنة (خاصة اكتشاف الخلية المساعدة) بدأت حقبة عصرية متسمة بعمل هـ . كيلين (1937-1956) . والتصنيف يرتكز الآن على السمات المستمدة من بنية ومن تطور الكاربوسبوروفيت ومن نمط دورة التناسل . في سنة 1892 كان شميتز يعرف أربع مراتب . وبعدها وُجدت ثلاث أخرى . وفي سنة 1881 بين ج . برتهولد ان الطحلبيات من مجموعة بانجيا تنتمي إلى الطحالب الحمراء ؛ واعطاها اولتمنس مكانة العِرق ، أما اليوم فتعتبر احدى الفروع الكبرى في شعبة الطحالب الحمراء .

5 ـ علم الفطريات (ميكولوجيا)

ان علم الفطريات هو علم جديد ، في اوج تطوره . وبدون شك فقد تشعب إلى مجالات أصبحت مستقلة بسرعة : منها الفيتولوجيا ، والميكولوجيا الطبية ، والبكتيرلوجيا (في قسم منها) حيث فتح آ . فليمنغ Fleming الفصل العجيب ، فصل المضادات الحيوية . ولكن كم من تيارات جديدة أو متجددة ، ذات أهمية بالغة لم تشكل منذ عشرات السنين ومنها الفيكوميسيت البحرية (ف . ك . سبارو ، 1943) ، اتنوميكولوجيا أو علم أجناس الفطريات (ر . أ . شولتز ، 1940 ؛ ر . ج . واصون) ، فطور مولدة للهلوسة وفطور بسيلو سيبنية (ر . هيم ، 1959) ، ووسائل لاقتناص الطرائد في التربة ، والفطور البوغية (آ . هـ . ر . بولّر 1909-1950 ؛ ك . ي . انغولد) ميكوريزس ، وسانبيوز او تكافل (أ . ميلن ، 1917-1948 ، ر . هيم ، الخ) ، وراثية (ب . و . دودج . ك . ك . ليندغرين ، الخ) .

ومن وجهة النظر المنهجية يصعب استخلاص تيار عام لأن المؤلفين المعاصرين لم يتفقوا فيما بينهم ، كما لم يتفق العلماء في الماضي . ان الفروع الكبرى العرقية لم تثبت بعد بقوة ، وقد تم حديثاً اعادة ترتيب منهجية على نطاق واسع . إن المنهجية الصحيحة بشكل كافٍ والمستقرة لا يمكن ان تكون وليدة علم فني ؛ وهي هنا فضلاً عن ذلك صعبة بشكل خاص لأنها ترتكز على معرفة الوظائف وعلى معرفة البنيات المتناهية الصغر . ان كتب أ . آ . غومان (1926 ، 1949) وكتب أ . آ . بيسي (1935 ، 1950) وكتب شاديفو 1960 تدل تماماً على هذا التعقيد .

وتشير الكتب المتوسطة عموماً إلى خمس فئات كبرى من الفطريات هي : الميكزوميسيت ، الفيكوميسيت ، الأسكوميسيت ، البازيديوميسيت ، « فطور غير مكتملة » .

وحالة الميكزوميسيت (هذه الاجسام الغريبة ذات الجهاز النباتي المكوّن من كتلة بروتوبلاسمية عارية تسمى بلاسمود) تدل تماماً على مدى اتساع الاختلافات بين المتخصصين . ومنذ آ . دي باري (1858) ، الذي وضعها خارج المملكة النباتية ، تمّ التخلي عن هذه المجموعة إلى علماء الحيوان؛ أو اعطيت مكاناً مستقلاً تماماً داخل التالوفيت أو النباتات المشريات . والعديد

من الباحثين امثال شروتر (1897) ، غوين ـ فوكهان وبارنس (1927) ، أ . آ . بيسي (1950) ، الخ ، يقفون إلى جانب باري . ومع ج . ك . سميث (1938) ، أعيد ادخال الميكزوميسيت ضمن الفطريات كعرق موازٍ للأوميسيت (فيكوميسيت ، آسكوميسيت ، بازيديو ميسيت) . وربطها شاديفو (1960) بالفيكوميسيت ، ثم جعلها ، سنداً لفكرة ف . مور ، عرقاً هو عرق الفيكوميكوفيت أو الفطريات ذات البوغات الحيوانية أو زومسبور ، وهو مجموع يمكن أن يتفرع من الطحالب السمراء أو كروموفيكوفيت . كل الفطور الخالية من البوغات الحيوانية (آسكوميسيت ؛ بازيديوميسيت ، زيغوميسيت) ، تشكل العرق الثاني : عرق الميكوميكوفيت . وقد نجح آ . ل . كوهن في زراعة نقية لبعض أنواع الميكسوميسيت . وبعد ذلك تقدمت معرفتنا بهذه الأجسام كثيراً ، ويجتذب هذا المجموع انتباه البيولوجيين بشكل مستمر ؛ في سنة 1960 بين ج . و . مارتين ان هذا المجموع يرتبط بشكل أفضل بالفطور أكثر من ارتباطه بوحيدات الخلية (بروتوزووير) .

إن الفصل المقرر بين الفيكوميكوفيت والميكوميكوفيت يتضمن أيضاً تغيراً عميقاً في إعادة توزيع الزيغوميسيت ، التي كانت عموماً تُصنف ضمن الفيكوميسيت . ان تطور البحوث في هذا المجال (مبارو Sparrow ، 1943) أوحى بالتكهّن بالانقلابات العميقة التصنيفية ، ورأى غومان (1949) ارومة الفطور العليا في الزيغوميسيت . ومع شاديفو اصبحت الزيغوميسيت فطوراً عليا .

وهناك عدد كبير من الاعمال خصص للفطور العليا بالمعنى الكلاسيكي (اسكوميسيت وبازيديوميسيت) : نباتات (سيلوج فونغورم ، 25 مجلّداً ، 1882-1931 ، للمؤلف پ . آ . سكّاردو ؛ كريبتوغامن فلورا للمؤلف ل . رابن هورست ، 1884-1938 ؛ دي ناتورليشن فلنزن فاميلين ؛ كريبتوغامن در مارك برنذنبورغ للمؤلف ج . ليندو و . پ . هننغس ، الخ) ، دراسات خاصة ، دراسات مورفولوجية وبيولوجية . وقدموا انجازات مهمة في معرفة هذه العروق ، ولكنهم لم يسمحوا بربط هذه ، ثم استخلاص السمات الكبرى لنظام اجمالي .

ويوجد في أيامنا مدرستان كبيرتان ، بما خص أصل الفطور العليا . فالبعض يرى أنّها : المجموع الوحيد الجذر (مونوفيلتيك) الذي ينشأ انطلاقاً من الفيكوميسيت (التي تُشتق من الطحالب أو من الهدبيات ، باري ؛ دانجار ؛ غومانّ ، 1926) . وبالنسبة إلى الآخرين ، وعلى اثر افكار ج . ساكس (1874) اعتبر الاصل بوليفيلتيك انطلاقاً من الطحالب الحمراء (ب . و . دودج ، 1914 ؛ هـ . س . جاكسون ؛ بيسّي ؛ شاديفو ، الخ) .

إن الفطور « غير المكتملة » هي أجسام نجهل تزاوجها الجنسي وإذاً فتصنيفها لا يكون الا مصطنعاً ؛ ونشير إلى انها تمثل اكثر من 1300 نوع (هـ . ب . بندر 1931) ومنها كثير له أهمية عملية كبيرة .

بازيديوميسيت ـ هذه الطبقة تعرف بأنواعها الصالحة للأكل أو المميزة : هيمينوميسيت (غاريقونيات ، سيبس ، الخ) أو غاستيروميسيت (فطر الذئب) الخ . وينطلق الفكر الحديث حول هذا الموضوع من أعمال السويسري ڤ . فايود ، وهو منشأ علم الاجنة لدى الفطور العليا ، والفرنسي ن . باتويار ، المؤسس الرئيسي لتصنيفنا الحديث .

إن أعمال و . بريفلد (انطلاقاً من سنة 1881) وأعمال فان تايغم (1893) ، وبحوث پ . سابن تروفي (1892) حول الفطور ، وبحوث ر . آ . هاربر (1898-1902) أقرت القرابة (التي ارتآها آل تولان) في الاوريدينال ـ اوستيلاجينال وبازيديوميسيت. واكتشف و. جويل (1986، 1916) ور . مير معياراً فطورياً استعمل كثيراً وهو : الاتجاه في الضمة النووية اثناء التناصف داخل الركيزة . ويرتكز نظام فريس بشكل خاص على شكل « الهيمينيوم » : وهي فطور ذات شفرات (آغاريسيني) وذات انابيب (بوليبوري) وذات ابر (هيدني) ، وذات سطح أملس (كلافاريّة) . ولكن بعد 1887 ناهض باتويار هذا التصور فقد رأى وجود بازيديات متنافرة (بازيد ذات خلايا متعددة) وبازيديات متوالفة (بازيد وحيدة الخلية) . ان البوليبوري والاغاريسين والتيليفوري والكلاڤاري هي عائلات من نفس المجموعة الطبيعية . ان القرابة العميقة رغم التفارق الظاهري قد كشفت : فعند البعض منها يكون الهيمينيوم طرياً (صفيحياً أو مثقباً) وقابلاً للانفصال ، وفي الاخرى يكون الهيمنيوم ليفياً وغير قابل للانفصال . في سنة 1900 ، انفصلت عائلتان من البازيديات المتآلفة هي آفيلو فورال (هيمينيوم عار ينمو بلا حدود) ، والاغاريسيني (غشاء عام زائل وهيمينيوم محدد) . تلك هي الاسس التي سوف يبنى عليها ، خاصة في فرنسا (اكتشاف الانجيوكاربي الكاذبة لدى البولت (ر . كوهنر ، 1926) ، ثم الروسول ، (ر . هيم Heim ، 1936)، احد الفروع الأكثر أصالة في علم الفطريات الحديث . ان الاعمال حول علم الفطريات وفي التحليل الدقيق والمورفولوجيا المقارنة والتجريبية قد أتاحت رسم السمات لتصنيف متجدد بشكل كامل (ر . هيم ، 1931 ، 1960) : ان المجموعة المتنافرة من الغاستيريوميسيت ، تشتق جزئياً ، وبسبل متنوعة ، من الاغاريكال . وهذه النظرة التي تتعارض مع نظرة ر . سنجر ـ يجب أن تؤدي إلى تجزؤ « الغاستيرو ـ ميسيت » التي يرتكز تصنيفها على أعمال هـ . لوواغ (1924-1934) واعمال أ . فيشّر (1933) .

أما فيما خص البازيديوميسيت المختلفة الركائز (مثل اوريدينال والاوستيلاجينال والاوريكولاريال ، وتريميلال ، الخ .) فقد خصصت لها نشرات عديدة ، ومع فطور الصدأ والفحم أصبحنا في قطاع مهم جداً من الفيتوباتولوجيا أو علم الامراض الفطوري ، في حقل من البحوث غني جداً على الصعيد البيولوجي العام. ان مسائل التناسل المتعلقة في البوكسينيامي بشكل خاص قد فتحت المجال أمام اكتشافات مدوية (مس . ر . ف . آلن ، 1928-1935 ، ج . هـ . كريجي ، 1927 ؛ ك . أ . انـدروس ، 1931-1933) وبين 1904 و 1907 بيين ڤ . هـ . بلاكمان وآ . هـ . كريستمان وجود تناوب حقيقي بين الاجيال . وكذلك هناك سلسلة من الاسماء لا تنفصل عن البحوث حول الفحوم (بريفلد ، 1881-1912 ؛ ف . روتشر ؛ آ . بارافيسيني ؛ هـ . س . جاكسون ؛و.ف. هنّا ؛ هـ . كنيب . ج . ي . ليرو ، 1935-1938 ؛ الخ) . وعلى الصعيد التصنيفي بيّن ك . پ . پلورايت (1889) التماثل الاساسي بين البروباسيد (تيليوسبور) عند الاوريدينال والاوستيلاجينال . وهناك مسألة من أكثر المسائل أهمية طرحها وجود العديد من الأعراق لدى بعض الأنواع مثل البوكسينيا غرامينيس (ج . إريكسون ، 1894 ، 1928 ، م . أ. كارلتون؛ إ.ك. ستاكمان) . وبيّن و. ك. ووتر هاوس (1929) ان بعض الاعراق الجديدة تنتج فيها عن عملية تهجين .

اسكوميسيت أو الفطريات الزقّية ـ في أواخر القرن التاسع عشر، واستناداً إلى بنية الاثمار ذات الخلية الأم، تميزت أربع مجموعات عامة هي : الليشن وتعيش بالتكافل مع اشنات المياه الحلوة ؛ ديسكوميسيت ذات هيمينيوم خارجي وفي أغلب الأحيان ملاصقاً لجهاز ضخم بشكل صحن أو مطرقة (بيزيز ، موريل ، هلڤيل الخ) ؛ بليكتاسيني أو بيرينوميسيت ذات هيمينيوم داخلي ضمن جهاز يسمى الجراب (بريتيس). وفي العقود الاولى من هذا القرن قُدم العديد من المعارف الجديدة حول هذه المجموعات بفضل السويدي ج . آ . نانفلدت (1932) .

ومنذ 1900 ركز أ . ج . دوراند على البنية الداخلية في الثمرة لدى البيزيزال . واعترف أ . بوديه (1879-1907) بقيمة تصنيف السمات المتعلقة بإنفتاحية الجيب ، وقسم الديسكوميسيت إلى اوبركولي واينوبركولي (مجموعة متنافرة وغير معروفة تماماً) ، وفيما بعد ركز العلماء انتباههم على التحليل الدقيق للبوغات والجيوب (شاديفو Chadefaud ، 1942-1944 ؛ م . لوغال Le Gal) . وأدت أعمال فون هوهنل (1902-1923)، ف. تيسن، ج. أرنوه، ج. موللر، نانفلدت (1932) Nannfeldt ، إضافة إلى اعمال أ . ج . هـ . كورنر الجنينية بشكل خاص ، إلى تصور جديد للاثمار ذات القبعات . وميّز نانفلدت أثماراً اسكولوكولية (بيري نوميسيت) ، وأثماراً آسكوهيمنية (ديسكوميسيت وبيري نوميسيت حقيقية) ، وأثماراً للبليكتاسكال التي هي بيريتيس مزورة . وبدت معايير نانفلدت Nannfeldt في أغلب الاحيان صعبة الاستعمال ، ولكن أ . س . لوتريل(1951) اكتشف علاقة مهمة في بنية القبعة أو الغلاف . وترك هذا التصنيف في الخارج بعض فئات خاصة مثل الخمائر أو اللابولبونيات .

ونذكر بين الاعمال التصنيفية الاكثر فائدة ، أعمال ر . تاكستر حول مرتبة فريدة هي مرتبة اللابولبونيات ؛ وأعمال ف . و . زوف واعمال ف . توبلر وآل مورو حول الأشنات ؛ وأعمال مس . هـ . جلكي حول التوبيرال .

فيكوميسيت ـ ان عدداً كبيراً من هذه الفطور (اوميسيت) هي ذات حياة مائية وتتكاثر بواسطة خلايا سابحة ؛ والأخرى (زيغوميسيت) محرومة من خلايت سابحة . وفي الصنفين ، يتمثل الميسيليوم بأنابيب أو « خيوط فطرية » ، بدون حواجز خلوية بينها ، وهي تحتوي على العديد من النوى .

في أواخر القرن التاسع عشر كان اهم انماط هذه المجموعة معروفاً (شيتريديال ، موكورال ، انتوموفتورال ، بيرونوسبورال ، سابرولينيال ، مونوبليفاريدال) وهذا التصنيف هو الذي كان سائداً . وجدوى بعض الوقائع قد اتّضحت سابقاً ، مثاله اوغامية المونوبليفاريس (م . كورنو) [البويضات الانثوية] .

ان حقل البحث قد اتسع بسرعة . ودلت الاعمال الحديثة (انغولد ، 1951-1955) على ان المسكن المائي كان هو أيضاً القاعدة بالنسبة إلى بعض الاسكوميسيت ، وإلى « الفطور غير المكتملة » . وفي سنة 1925 استند أ . شيرفل إلى نمط الهدب في الخلايا التناسلية ، فميز بين الفيكوميسيت المائية ، الشيتريديال (وهي أسلاف وحيدة الهدب) والسابرولينيال ـ بيرونوسبورال (أسلاف ثنائية الهدب) . وكان الطريق قد فتح امام تقدم العلم المعاصر . وادخلت بحوث ف .

ب . كـوتنـر (1930) ، ك . ر . دريشـلر ، ج . ن . كـوش ، و . هـ . وستـون وسپـارو (1943-1959) ، تصوراً متجدّداً يرتكز على نمط الزوسبور وعلى السكن ؛ ان اختلاف طبيعة المجموعة قد ثبت .

IV ـ التناسل

أعطت المعارف المكتسبة في الربع الأخير من القرن التاسع عشر ، فيمـا يتعلق بالبيـولوجيا النباتية ، وفي الجنس والوراثة في المملكة النباتية ، لهذه الحقبـة اهميتها المميـزة . فمنذ 1900 ، وبعـد اعادة اكتشـاف قـوانين منـدل واعمـال وايسمن Weismann ، ارتسم تـواصـل سـوف يكـون حاسماً ، بين علمين مفتاحين : علم الخلايا وعلم الوراثة . ومع نظرية « شيـا سماتـا » (ف . أ . جانسنس ، 1909) ونظريـة كروسنـغ ـ أوفـر « العبـور » (ت . هـ . مـورغان ، 1912) ، تمت خـطوة كبيرة بـاتجاه التـركيب أو الدمـج الذي اوضحـه كتاب ك . د . دارلنغتـون وعنوانـه « التقدم الحديث في مجال السيتولوجيا أو علم الخلايـا » (1932) . ان البحوث الاسـاسية التي قـام بها ك . ب . بريدج (1916-1920) ، وبيلينـغ تعود إلى علم الخـلايا الـوراثي (سيتوجنتيـك) الذي اوضـح ظـاهـرة الجنس ، جـاعـلاً من التخصيب عمليـة مخصصـة لاتـاحـة التبـادل المـادي بين اجـزاء الصبغيات : « اعادة الدمج الجيني». اما التناصف فمن نتائجة استحداث الغاميت المختلفة النوعيـة في كل جيل . وبواسطة التخصيب تتشكـل افراد مزدوجة واصليـة وراثياً . تلك هي حـال القانـون العام كما بدت . كان وايسمان على اثر اعمال أ . رو Roux (1883) ، وقد ارتكز على اساس نظري خالص ، قد حدد العملية الجنسية وكأنهـا مخصصـة لادخـال التنوع في الوراثـة عن طـريق اختلاط التغيـرات الفرديـة ، مع الاتصـال بالانتقـاء الـطبيعي . وبين داروين بعـد كـولـروتـر (1763) وك . سبرنجل بان الاساليب الاكثر تنوعاً تستخدمها النباتات لكي تقطع الـطريق على التخصيب الذاتي ، ولتسهيل عملية التخصيب بالتلاقي . ولم تفته دلالة الظاهرة : في التخصيب في التلاقي تعثر البزور على قدرة توليدية افضـل : فهي اكثر عـدداً ، واثقل ، واذا فهي ذات قيمـة انتقائيـة اكبر في عمليـة التطور ، على الاقل في العديد من الاوساط .

ان اكتشافات داروين ، واكتشـافـات هـ . مـولـر (1873-1881) وكتاب پ . كنـوت Knuth الموسوعي (1898) طـرحت ركائـز احد الحقـول الاكثر انفتـاحاً في العلم المعـاصر ، حيث سـوف تسجل اعمال جميلة جداً مثل اعمال كرنر ڤون ماريلون (1913) وو . پورش (1922) . أو عمل ك . ڤـون فـريش المتعلق بعلم الحشـرات . منـذ 1908 (أ . ايست) و 1909 (ج . هـ . شول) ، اكـد التحليـل الوراثي للتلقيـح الذاتي المغـاعيـل المضـرة لهـذا التلقيـح ضمن بعض الشـروط . ولكن سرعان ما انصب انتباه البيولوجيين على المسألة العامة مسـألة أواليـات التنـاسـل . فالتفسيـر في ضوء النيـو ـ داروينية ، ليس فقط الاخصـاب الذاتي والاخصـاب المتقابل (التقابلي) بـل وأيضاً كثـرة الصبغيات (المكتشفة سنة 1907) واللااختلاط (و . جويل وس . موربك ، 1900) ، الخ . تلك هي تيـارات البحوث الاسـاسية في العلم المعـاصر ، التي بهـا ترتبط اسمـاء عـظمـاء من العلمـاء (دارلينغتون ، ك . ماذر ، ج . ل . ستيبْنس ، آ . غومستافسـون ، الخ) . ان الدراسة المقـارنـة لانظمة التناسل ، تبعاً للامكنة ، المطبقة منذ حوالي عشرين سنة ، ادت الى تشكل فـرضيات ذات

جدوى متناهية تتعلّق بولادة الجنس وتطوره . ان الظاهرات الملحوظة لدى البكتيريا ، ذات البنية النووية القليلة التنظيم (أ . لووف Lwoff ، 1943) قد أتاحت رؤية تصور جديد للظاهرات النووية ، خاصة ان اعادة الامتزاج الجيني الوراثي ، قد لوحظ وجوده في هذا الامتزاج ، بل تم اصطناعياً (1955) . وهكذا فان الاتصال الضروري بين الجنسية (sexualité) وبين التنظيم المعقد ، والمكتمل لنواة النباتات العليا ، يبدو مزعزعاً :

وهناك سوابق اكثر بدائية بكثير ، ولكن ليست اقل وظيفية ، ولا اقل انتقائية ، على مستوى آخر (سابق على الجنس ربما) .

تشكّل النباتات الزهرية مجموعة ملفتة من حيث وحدتها ؛ ان مفاهيم : الزهرة ؛ التزاوج التبادلي ، والتلقيح ، والبزرة ، ليست موجودة في أي مكان آخر في العالم الحي . وداخل النباتات الزهرية ليست فرادة عاريات الزهر أقل وثوقاً : ان التخصيب المزدوج ضمن حقٍ جنيني وهو في اغلب الاحيان ثماني النوى ، وتشكل الثمرة هي ظاهرات غير معروفة في الدرجات السفلى من الهرم التصنيفي . ان الكثير من الاعمال قد تناولت هذه المسائل ، وانتهت بتزايد ضخم في معارفنا : احداث جديدة ، ولكن أيضاً فهم صحيح للاحداث .

ولدى الاجسام الدنيا كالطحالب والفطور ، حيث بدا الجنس متنوعاً تنوعاً غريباً ، كان التقدم اكثر بطئاً بكثير ، حيث كان البحث يهدف بشكل خاص الى الاستكشاف ، والى التعريف والتصنيف ، دون اغفال الهدف الأخير وهو وضع نظرية عامة حول التناسل .

الطحالب ـ منذ سنة 1856 حاول برنغشايم ان يُشْمِلَ الطحالبَ بنظرية تناوب الاجيال ، الموجودة لدى النباتات العليا ، والموضوعة من قبل هوفمستر ، النظرية التي تعلن ان النمو الوراثي الفردي في نبتة ما يتم وفقاً لدورة مؤلفة من مرحلتين : الاولى لا جنسية منتجة لبوغات (سبورات) وتسمّى « سبوروفيت » [النبتة قبل الخلوية] ، والاخرى جنسية منتجة للغاميت [النبتة الغاميتية] . وبعد اعمال أ . ستراسبورغر (1893) الذي اعطاها اساساً خلوياً ، ظهرت نظرية تناوب الاجيال كدعامة من دعائم البيولوجيا الحديثة : فالسبوروفيت الثنائي الصبغيات المتأتي عن تبرعم الزيغوت ، يفرز البوغات « سبور » الهيولدية التي منها تتولد النبتات الغاميتية (غاميتوفيت) ؛ والتنصف وتزاوج النوى (كاويوغامي) ينظمان هذا التناوب .

في سنة 1850 و 1900 كانت البحوث المتعلقة بالجنسية لدى الطحالب في منتهى النشاط والخصوبة ، فادت بشكل خاص إلى اكتشافين كبيرين جداً : الاخصاب (تورت وبرنغشايم ، 1853-1855) تزاوج النوى النباتية (ك . ج . ف . شميتز ، 1879 ؛ ج . برتهولد 1881) . انما توجب اكثر من نصف قرن من البحوث حتى امكن تقديم البرهان الحاسم على وجود تعاقب بين الاجيال في هذه الاجسام . وفي سنة 1897 ، ظهرت الدراسة الاولى الصبغية وتناولت طلحباً ، فوقساً ، وهو نوع كان معروفاً يومئذٍ بأنه ثنائي الصبغات (ستراسبورجر) ؛ ولكن في سنة 1909 فقط استطاع س . يامانوشي ان يوضح مكانة التنصف في الدورة .

لا شك ان ملاحظات ج . رنكي Reinke (1878) وپ . فالكنبرغ (1879) قد ادت الى الاستنتاج بان الطحالب السمراء من النوعين كوتليريا واغلا وزونيا ، المعتبرين مختلفين ، يمثلان جيلين من نفس الدورة ؛ ولكن هذه الواقعة لم تثبت على اساس كاريولوجي الا حوالي سنة 1910 (س . يامانوشي) : ان الكوتليريا هي النبتة الغاميتية أحادية الصبغة (أو الثنائية) ؛ والاغلاوزونيا هي نبتة سبورية ثنائية تنتج السبورات الحيوانية ؛ ان النبتة هي مزودجٌ مختلف الشكل ؛ والجيلان يختلفان الواحد عن الآخر من ناحية مظهرهما الانباتي . وج . ل . ولیامس هو الذي بيَّن بين 1897 و 1904 وجود تناوب عند الطحالب . وقد اثبتت اعماله انه في الديكتيوتا (طحلب اسمر) ، تبدو النباتات الغاميتية الوحيدة الصبغة (والثنائية الصبغة) متعاقبة مع النبتة السبورية الثنائية ، والاثنان يرتديان بنية إنباتية متماثلة (ديپلوبيونت ، أيزو- أو هومو مورفيك) وقد أدهش هذا الاكتشاف العلماء : فالدورة تتضمن نبتتين مستقلتين ومتماثلتين إنباتياً بآن واحد .

في سنة 1905 اثبت ك . أ . الن ان التنصّف يتم عند تبرعم البيضة في غمديات الهلب (طحلب أخضر) ؛ والجيلان في هذه الحالة هما وحيدا الصبغة بشكل كامل ، ولكنهما يختلفان الاول عن الاخر نباتياً . ودعت الوقائع إلى إعادة النظر بشكل عميق في النظرية من حيث تطابق المراحل الخلوية وتطابق الاجيال . ولم يكن هذا الا خطوة اولى .

ومنذ سنة 1906 لحظ يامانوشي التنصف في طحلب احمر هو بوليسيفونيا ڤيولاسي حيث يلتقي نمطان من النباتات السبورية : الكاربوسبوروفيت، الملتصق دائماً بالغاميتوفيت ، والتراسبوروفيت المستقل . ويوجد لدى بوليسيفونيا تناوب بين ثلاثة اجيال ، اثنان منها مستقلان : وحده الغاميتوفيت هو وحيد الصبغة. ثم جاءت اكتشافات يامانوشي حول الفوقس وحول الكوتليريال ، واكتشافات ن . سفيدبليوس ، سنة 1915 حول سيِنايا ، وهو طحلب احمر بدون تتراسبوروفيت ، وفيه يحدث التنصف في الحال بعد التخصيب . وفي سنة 1915 أيضاً حدث الاكتشاف الذي حققه عالم الطحالب الفرنسي ك . سوڤاجو Sauvageau حول التناسل وحول دورة « رقاقة تافهة » هي ساكورهيز بولبوزا ، التي هي في الواقع ديپلوبيونت هيتيرومورفيك تشبه السرخسيات .

ان بحوث سوفاجو ، التي وضعت موضع التنفيذ طريقة انيقة في التجزيع ، قد تعممت لتشمل أنواعاً اخرى . وبخلال عشر سنين فتح حقل واسع من البحوث سوف يصبح متناهي الخصوبة . وبشكل خاص قدم السويدي كيلين مساهمة لا نظير لها في معرفة الدورات في الطحالب السمراء والطحالب الحمراء .

داخل هذا التنوع الذي يفوق التصور الموجود داخل هذه الاجسام منذ نصف قرن تم الكشف عن حالة من الحالات التي يجدر ذكرها ، من قبل ج . وج . فلدمان (1942-1952) . بين هذان الباحثان ان البونميزونياسي المعروفة ليست الا غاميتوفيت نوعية صنفت التراسبوروفيت منها حتى ذلك الحين كانواع متمايزة من فصيلة أخرى ثم عُلِم (ف . مانيه ، 1960) ، ان هذه التراسبوروفيت ، وهي نباتات ليفية قزمة ظنت منذ سفيدبليوس (1933) انها أحادية الصبغة ، هي مثنوية حقاً .

وبيّن . فلدمـان (1950-1954) بعد ب . كـورنمان (1938) الـدورة المتبـاينـة الشكـل ، في بعض الـطحالب الخضـراء البارزة . هـذه الاعمال المتنـوعة ادت الى تـرقب بعض الاواليـات التـطوريـة المرتكزة على استقلالية المراحل والاجيال : تغير مكان التنصف ، انقطاع الدورات نهائياً .

وفي مجال اخر تجب الاشارة الى تجارب م . هرتمان وتجـارب مـويـس . منذ 1923 اصـدر هرتمان الفرضية بان كل الغاميت تمتلك بآنٍ واحد القدرتين الذكريـة والانثويـة ، وتسيطر احـداهما على الاخرى فتحدد الجنس . واتاح هذا التصور تفسير بعض الـظاهرات الجنسيـة النسبية ، مثـل اتحاد غاميتين من نفس الجنس في طحلب اسمر (اكتوكاربوس) وفي كلاميدومـوناس اوغـاميتوس (مـوييس Moewus, 1939) . بيَّن موييس وهـو يتابـع استقصـاءاتـه فيمـا يتعلق بـالمـواد الجنسيـة المفروزة من قبل الغاميت ، والمتحكمة بـالجنسية النسبيـة ، ان العملية الحـاصلة تعود الى تقهقـر الصبغي الجـزري (Caroténoïde) ، وان عنـد كـل محـطة من محطات التقهقـر تتصـرف المـادة المصنـوعة بشكـل خصوصي لكي تنشط التحـرك ، وتـطلق جـذب الغـاميت ، أو تنـوع الجنس . وتجب مقارنة هذه النتائج بنتائج ج . ر . رابر (1951) حول الهرمونات الجنسية في الفطور .

الفطور ـ في دراسة الجنس عند الفطور فتح القرن العشرون على اعمال اسـاسية قـامت بها المدرسة الفرنسية : منها اعمال ب . أ . دانجار وساپيّن ـ تروفي ، ر . مير ، أ . غيليرموند .

وتتعارض اعمال دانجار (1894) حول جنس الفـطور العليا (اسكـوميسيت وبازيـديوميسيت) مع وجهات نظر أ . بريفلد وترسم منعطفاً في البحث . كما تقدم البرهان على الذويان النووي في التجويف أو الكيس وفي الدعامة (باسيد) ؛ وهي تؤكد المعنى الجنسي ، وأيضاً العمومية الكبـرى في الفطور العليا . في « الذويان الدانجاردي » تشبه النوى المتزاوجة الغـاميت . ومنذ 1895 وصف ر . أ . هارپر « زواجاً نووياً » اخر لدى الاسكوميسيت ، فاعتبره هو اندماجاً حقيقيـاً بين الغاميت ، وانه ابكر من الزواج الذي رصده دانجارد . ويعتقد عموماً (كلوسن ، 1912) ان الظاهـرتين تمثلان حدود تفاعلية مستطيلة تبدأ بتراكم النوى الذكرية والانثوية وتنتهي لاحقاً بالاندماج أو الذويان .

وقد تناول العمل الرئيسي الذي وصفه غيليرموند (1902 - 1940) الخمائر التي بين پاستـور انها كائنات حية . وكان الرواد الكبار في دراستها التصنيفية هم م . ريس (1870) وأ . هانسن (1879) . واكتشف غيلير موند الجنس عندها الذي يظهر بعدة اشكال متمايزة تمـاماً . وهـذه الاعمال الـرائعة حملتـه على وضع تعـريف دقيق لطبيعـة ولتصنيف الخمائـر الحقة ، وهي أجسـام مستقلة ـ اطروحـة أ. هانسن ـ وليست مجرد مرحلة في نمو الفطر الاعلى (والذي تبدو قرابته الجزئيـة مع الاسكـوميسيت ثابتة تماماً) .

الواقع انـه قد ثبت التنـوع الكبير في الـدورات لدى الفـطور وقد امكن تمييـز سبعٍ من هـذه الـدورات (رابر ، 1954) ومنهـا دورة كاملة أحـادية الصبغـة (فيها يـأتي التنصف مباشـرة بعد ذويـان الخلايا الجنسية ، وهي حالة تكثر في الفيكـوميسيت والاسكوميسيت البـدائية) ودورة ثنـائية خـالصة (بعض الفيكوميسيت والخمائر) .

وابتداءً من سنة 1904 ، وابتداءً من اكتشاف قام به الاميركي أ . ف . بلاكيسلي ، اكتشافه للهيتيروتاليسم [اختلاف انعدام الاوراق والساق] لدى الموكورال (فيكوميسيت) ، تحقّق حقل ضخم من البحوث . ومنذ اعمال بريفيلد تطورت تقنية الزراعة للبذرة الوحيدة، ولكن تعميمها اصطدام في بعض الحالات ، كما في « ريزوپوس نيغريكانس » ، بفشل متكرر . بيّن بلاكيسلي انه لدى هذا النوع ، وقد سماه « هيتيروتاليك » ، تتوزع المشرة [جسم نباتي ليس فيه محور مركزي] المتشابهة ظاهرياً ، إلى فئتين فيزيولوجيتين رمز إليهما بالعلامة + والعلامة − ، والتزواج لا يتم الا بين مُشراتٍ منبثقة عن بوغات من علامات مختلفة . وتولد السپورودينياغرانديس المسماة هوموتاليك بوغاتٍ ذات طاقة مزدوجة .

ووجدت الهيتيروتاليسم (اختلاف المشرات) لدى الاسكوميسيت ولدى البازيديوميسيت . وفي سنة 1924 بين هـ . بورجف Burgeff انه لدى الموكورال هيتيروتاليك يتم التمايز بين البوغات + و − في جيب البوغات البرعمية المنبثقة عن الزيغوت ، وبنسب متساوية تماماً ؛ وتتبرعم كل بوغة فتتحول الى مشرة من نفس العلامة . وفي بعض الاحيان يتم انفصال البوغات داخل الزيغوت ، ويستقطب السپورنجيوفور الذي يحمل جيب التبرعم باتجاه العلامة + أو باتجاه العلامة − . وبينت بحوث الهيتيروتاليسم أن هذه الظاهرة مختلفة عن العملية الجنسية ، وانها قد تحل محلها أثناء عملية التطور . وفي الاسكوميسيت ذات المشرة الخنثوية ، لا يحدث التزاوج إلا بفعل العاملين A و a ، المختلفي الجنس واللذين يفرقان بين المشرات (تال) ويشكلان « عشائر جنسية » .

من الثابت الان ان تحديد الهيتيروتاليسم هو ذو طبيعة وراثية ، ويعود الى التفسير المندلي . وتوصل دودج (1927) حين ادخل عوامل تميزية عمليانية الى توضيح السلوكات المختلفة للمشرات (هيتيروتاليك) لدى النوروسبورا . ودراسة الهيتيروتاليسم عند البازيديوميسيت قد اثبتت تعقيد هذه الظاهرة ، ومن النتائج الاكثر اهمية كان توضيح الظاهرة المسماة الاستقطاب الرباعي (ڤاند ندريز ، 1922 - 1937 ؛ كنتانيلها) : اربعة عوامل مندلية ، وليس اثنين كما هو الحال في الاسكوميسيت، تتحكم بعملية اختلاف المشرات (هيتيروتاليسم) .

وهكذا ، في الفطور كما في النباتات العليا ، توجد تناقضات ذات حتمية وراثية تتراكم فوق الجنس بالذات ، فتوجه تناسل النوع ؛ ولكنها هنا في اغلب الاحيان اقل فعالية (وذلك من جراء اهمية التوحد) . ويوجد لدى بعض الفطور (الخُمّر) معادل للتلاقح بالتلاقي ، حيث تقوم حشرات بالتخصيب داخل نفس النوع (ج . هـ . كريجي ، 1927) . ان التناسل الجنسي لدى الفطور كما لدى الاجسام العليا ، هو في اصل التميز والانفصال وفي اساس التزواج الجيني حتى في الاجناس الوحيدة المشرة (هوموتاليك) (لان الافراد فيها مختلفون وراثياً) .

وتعرض بعض الفطور ظاهرات فريدة ، مثل الهيتيروكاريوز الذي يتم بالاندماج اللاجنسي بين « الخيوط المشيجية » ، وأخيراً باتحاد النوى داخل نفس الخلية . في سنة 1932 بيّن ن . هـ . هانسن ور . أ. سميث (لدى بوتريتيس سينيري) ان هذه الخلايا المتعددة النوى هي

وراثياً متفارقة (فالنواة هي وحدة التمييز) : فالبوغة الواحدة تعطي عند الزراعة ثلاثة مشيجات مختلفة . وتبدو هذه الاوالية مهمة الى اقصى حد ومفيدة في التكيف مع بعض الظروف . وقد اثبتت الاعمال الحديثة (ج . پونتيكورفو Pontecorvo ، 1956) في البينيسيليوم وجود تفاعلية شبه جنسية ، تعادل الجنس بنتائجها ، ولكنها تسبق عملية الهيتيروكاريوز ، وتتم وفقاً لاسلوب غريب تماماً .

وفي مجال فيزيولوجيا الهيتيروتاليسم كانت الاكتشافات ايضاً رائعة بشكل خاص . فمنذ 1924 ، بيَّن هـ . بورجف ان تشكل الاعضاء التناسلية الانثوية هو تابع لافرازات هرمونية صادرة عن مشرة + عند « موكورموسيدو » . وفيما بعد (1935) تم التثبت من افرازات متقابلة في مشرة – وكشفت اعمال راپر (1931 - 1951) على الفيكوميسيت المائي ، عن التعقيد البالغ في هذه الظاهرة حيث تتدخل سلسلة من الافرازات الهرمونية الخصوصية ، والمتناسقة بدقة . وبينت التجارب الحديثة كذلك انه في السرخسيات (بوليبودياسي) ، تقوم الهرمونات الخاصة باحداث الاختلافات الجنسية في « البروتال » (سابقة المشرات) . وتتدخل عمليات مماثلة ايضاً في النباتات ذات الازهار ؛ وكشف مويس دور بعض المواد في ظاهرات التناقض داخل الازهار المتباينة قلمياً .

* * *

يتحصل من تاريخ علم النبات منذ 1900 ، وقد حاولنا ان نمسك ببعض تحركاته ، مفهومان ، كان يمكن استخلاصهما في القرن الماضي ، ولكنهما يرتديان في الحقبة الحاضرة قيمة اساسية . المفهوم الاول هو الاستقواء الدائم لوحدة البيولوجيا النباتية ، ووحدة البيولوجيا العامة ، وذلك في العلاقة مع التعميق العجيب للمعارف حول طبيعة الحياة واصلها وتطورها . والمفهوم الثاني هو مفهوم التجدد السريع والمفاجىء في مادة البيولوجيا ، وهذه الحالة جلية في الفيزيولوجيا النباتية ، وفي المورفولوجيا (علم التشكل) العامة حيث امكن اجتياز مراحل تقنية حاسمة ؛ كما ان الامر واضح ايضاً في مجال التصنيف ، حيث ترتسم تعديلات عميقة . ولنقل بصراحة : ان البيولوجيا المعاصرة ليست دائماً موجودة بسهولة في سابقتها التي كانت في مطلع القرن ، وهي ترتدي احياناً سمات التحول ، رغم وجود استمرارية عميقة كامنة وخفية .

القسم الخامس

الطـــب

إن الخمسين سنة الأخيرة من المكتسبات الطبية قد حققت تقدماً يـزيد على التقـدم الحاصـل في آلاف السنين الماضية . ووصف الطب في القرن العشرين يجب أن يعطي الانطباع عن ثورة طبية ، قلما يقدر الرجال الذين يشاهدونها ، سمتها السريعة والنتائج المنبثقة عنهـا والتي يصعب قياسهـا . هذه الثورة الطبيـة المعاصرة ليست من فعل قفزة عبقرية صـادرة عن فكر ينطلق فوق ارض مجهـولة ليكتشف عالماً جديداً ؛ بل هي تعود إلى عمل دؤوب قام به جيش من الباحثين . فقـد قام هؤلاء ، كما يجب ، بدراسات في مناطق حـدودية تقـع بين الطب والعلوم المجـاورة . وتطور علم الاشعـة والميكروسكوب المهجري الفائق ، والالكتروفوريز ، والنبذ المحوري المتفوق ، والتعيير المتناهي الصغـر ، وكذلـك علم الهرمـونات ، وعلم الانـزيمات وعلم الفيتـامينات ، والتطبيب الكيميائي ، والتطبيـب بواسطة المضادات الحيـوية ، وعلم الـوراثة المتكيف مـع الانسـان ، والاحصـاء المطبق على علم الاوبئة ، كل ذلـك يشكل امثلة حـول هذه المكتسبـات الطبيـة ، المنجزة بفضـل العلوم المختلفة ، وبفضل تبيين حدث معاصر مهم هو : تسـرب دقة الفكـر العلمي إلى دراسة الامـراض البشرية .

فمحل الحكم « الانطباعي » حلّ التشخيص التحقيقي ، مما لا يستبعد على الاطـلاق الفكر العيـادي ، الذي ليس شيئـاً آخر غيـر القدرة على الـرصد الـذي لا ينثني وعلى التحليل الصحيـح وعلى التركيب الصالح . وبدلاً من المعـالجات المبنيـة على التجربة العملية ، التي أخـذ مجالهـا يضيق ، قـامت الاستطبابات ذات المفعول القـابـل للقيـاس . وهـذا لا يستبعـد ، على العكس ، المهمة الدقيقة جداً ، مهمة تكييف المعالجات لتتلاءم مع كل حالة خاصة ، فضلاً عن قوة الادويـة الموضوعة بين يدي كل معالج بحيث تحوله إلى ساحر حقيقي يجب عليه أن يطبق قوته بحكمة .

في اواخر القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين ، يـوم كان علم الامـراض علماً دقيقـاً ، وكانت امراض كثيرة محددة ومعروفة ، أخذ الطب يتقدم بصعوبة من جراء نقصين كبيرين .

النقص الاول كان مرتبـطاً بسمة وسـائل الاستكشـاف . فقد كـان الطبيب يستعلم عن طـريق استجواب المريض أو محيـطه ، عن المعلومات التي يجمعهـا وهو ينـظر إلى المريض ويتلمسـه ،

ويتفحصه ويمعن النظر فيه . لقد كان الفحص بالتسمع الاكتشاف الاكبر الذي قام به لانيك Laennec في مطلع القرن التاسع عشر ، وقد اتاح بمساعدة المستندات التشريحية وضع علم للاعراض والدلالات متين ولكنه اوّلي ، حول امراض القلب والرئتين . فطالما أن الطبيب ليس له غير عينيه واذنيه واصابعه ، فإن فحصه مهما كان دقيقاً لا يمكن أن يقدم الا بعض العناصر من أجل التشخيص ، في اغلب الحالات .

إن التقصير الثاني كان مرتبطاً بكون الطبيب ، في أغلب الاحيان،محروماً من القدرة على العمل . فقد كان سلاحه قاصراً ضد غالبية الامراض المعدية . وضد الامراض المستعصية والغذائية والغددية وضد السل ، كان التشخيص لا يؤدي إلى نتائج غير عقيمة . فلم يكن بالامكان تخليص المرضى من الاضطرابات التي كانت تؤرقهم ؛ وكان الطبيب يقف عاجزاً أمام تفاقم غالبية الامراض الخطيرة .

وتغيرت الازمنة . لا شك أن الفحص العيادي بقي الاساس الذي لا غنى عنه في العمل الطبي . وبقيت دقة الملاحظة وروحها ، والحس الثابت ، والذاكرة الاكثر امانة ، والحكم الاكثر يقيناً من الضروريات للطبيب . ولكن هذا الفحص العيادي الضروري ، والمتكرر عدة مرات والحريص والدقيق ما امكن ، يعتبر اليوم نقطة انطلاق للكثير من الاستكشافات المتفرعة منه . إن التقنيات الحديثة المكتشفة منذ خمسين عاماً ، ضرورية جداً لتوثيق وتوضيح التشخيص الذي ارتآه الفحص العيادي . والمعلومات التي تقدمها الدلائل العيادية ، وتقنيات الاستكشاف ، تكتمل لاعطاء العمل الطبي كل قيمته : إن الايضاحات التي رصدت في انبوب الاختبار أو التي قدمتها اداة طبية ، تصلح كإدراك نفثة في الصدر . وهذه وتلك مترابطة لبلوغ الغاية وهي : تشخيص دقيق وكامل . واليوم اصبح البحث عن التشخيص يؤتي ثماره لان الطب يمتلك اسلحة جديدة وقوية اضافة إلى المعالجات الفيزيولوجية والكيميائية ، والحيوية المضادّة .

وعرضنا سوف يتناول ثلاثة أقسام :

إننا نعرض في اول الامر التقنيات الجديدة الاستكشافية التي تتيح الوصول إلى عمق الاعضاء ، ثم اكتشاف الاضطرابات العميقة فيها ، التي كثيراً ما تكون سرية أو مكتومة : التصوير بالاشعة ، أخذ الصور ، الفحص الاحيائي ، تقنيات فيزيائية احيائية ، تقنيات احيائية كيميائية ، التجارب الوظيفية المشتقة منها . ثم ندرس فيما بعد تقدم المعارف الطبية الحاصلة ، بشكل خاص ، بفضل تطبيق هذه التقنيات ، وبفضل رهافة المراقبة والملاحظة : امراض معروفة بصورة أفضل ، ومفهومة بصورة أفضل ، وأمراض مكتشفة حديثاً . ثم نعالج الفصل المهم فصل تطور الاستطباب .

الفصل الأول

التقنيات والاستكشاف

I ـ الراديولوجيا أو علم الأشعة

إن الاستخدام الطبي للاشعة قد ازدهر إلى درجة أنه يصعب اليوم كثيراً الاحاطة بمجموع المسألة . لقد بدأت الاكتشافات الكبرى في أواخر القرن التاسع عشر . منذ أن اكتشف رونتجن ، سنة 1895 ، أشعة اكس ، ومنذ أن اكتشف هـ . بيكيريل النشاط الاشعاعي الطبيعي (1896) ، المتبوع باكتشاف الراديوم من قبل ب . وم . كوري (1931) ، ويمكن ذكر ثلاث مراحل في التقدم :

1 ـ من سنة1895 حتى حدود 1931 ، جرى تحسين المعدات الراديولوجية التي شغلت المهندسين والاطباء .

2 ـ المرحلة الثانية بدأت سنة1921 عند ظهور الاستكشاف للشحوم من قبل سيكارد وامتدت حتى ايامنا ، واعطت كل الاهمية لمواد الفرق أو التضاد .

3 ـ الحقبة الثالثة ويمكن جعلها تبدأ من أول انفجار نووي وتتميز بالاهتمام بكمية الاشعاعات التي يتلقاها المريض خلال الفحص الاشعاعي .

وبعد اكتشاف رونتجن بقليل ، تمّ حل مسألة المولدات . إنما كان لا بد من وجود انابيب قادرة على تحمل القوى المتاحة . وسرعان ما استبدلت انابيب الغاز بالبث الحراري الايوني تحت فراغ كوليدج (1913) ، المبرد بالماء أولاً ثم بالمواوح وأخيراً بغلاف من الزيت .

إن الصفات في مركز البث ، المرتبطة برقة السطح ولمعانه ، مرتهنة للتسخين الناتج عن القذف الكاتودي . إن قسماً من المسألة قد حلّ باستبدال البلاتين بالتونغستين ، ثم بمعالجات خاصة . والقسم الاخر قد وجد حلاً له بتركيز الدفق الكاتودي . وظهور مضادات الكاتودات المنحنية عل المحور كان تقدماً آخر . إن الانابيب ذات البؤر المزدوجة التي اوجدها مولر قد اتاحت التحكم ببؤرة رفيعة بالنسبة إلى البنيات الصغيرة وببؤرة كبيرة من أجل الفحوص التي تتطلب قوة . ولكن الحل الاكثر اناقة قُدِّم سنة1931 من قبل النرلندي بوورس داينتهوفن Bouwers d'Einthoven الذي تصور أن يدير الكاتود المضاد ، فضاعف المساحة الحرارية مقابل نفس

المساحة البصرية وأعطى للأنابيب قوة كافية بالنسبة إلى كل الفحوص المطلوبة .

والحقبة الثانية ، في سنة1921 ، حتى ايامنا كانت حقبة استخدام وتطوير الفروقات (كونتراست) ، عن طريق تحسين السطوح الحساسة وذلك بخلق فروقات مصطنعة في الموضوع ، وأخيراً بسحب لوح الكتروني ، للصور الاختبارية المحصول عليها .

لا شك أنه بعد الحقبة الراديولوجية ، لم تزل الفروقات الفوتوغرافية تتحسن . في سنة 1912 ، اخترع بوتر وبوكي المنخل المضاد للبث . في سنة1914 ، حل الفيلم محل صفيحة الزجاج « بلاك » . في سنة1917 ، دهن ج . ايستمان ، بناء على الحاح لوبوشز ، الفيلم عن الوجهين . سنة1920 ، قدم ويلسي Wilsey حلاً عملياً لمسألة الشاشات المقوية المعروفة منذ 1897 من قبل ونكلمان Winkelman وستروبل Straubel . وحسنّه ش . غونتز الجزائري Guntz d'Alger بإضافة السولفور الزنكي والكادميوم .

لا شك أن استخدام الفروقات (Contrastes) المصطنعة ، المكثفة أو المضيئة ، يعود تاريخه إلى ازمنة استخدام اشعة ايكس . ولا نزاع ، إن دراسة الجهاز الهضمي هي التي أفادت منه في باديء الامر : جعل المعدة (معدة الضفدع) غير شفافة بواسطة البزموت (و . ب . كانون Cannon، 1898) ، ثمّ في سنة 1898، طبق ريدر من ڤينا على الانسان الوجبة البزموتية التي تحمل اسمه . وفي نفس الحقبة تقريباً استخدم بيكلير ، النفخ المعوي ، ثم عقبه تورود وبانسود فادخلا التعمية (أو التكثيف) بواسطة الجيلوبارين .

وكانت الاصابات المعدوية قد وصفت من قبل المدرسة النمساوية مع هولزكنيشت سنة1906 وهودك سنة1910 ، الذي بقي اسمه مرتبطاً بالحجرة المعدوية . ويين فورسل ، سنة1913 ، الصور الاولى للناقر الغشائي . وفي سنة1920 ، فضل غريغوري وكول (نيويورك) أخذ الكليشهات سلاسل . واستعاد الفكرة السويدي آكرلُند والفرنسي غوتمان الذي جعل التناذر المؤلم الشرسوفي (فوق المعدة) مواجهة عيادية تصوير إشعاعية .

وإدخال الفحوصات الصيدلانية الديناميكية الهضمية مرتبط بشكل خاص بجهود العلماء الفرنسيين : تأثير البروستغمين على الامعاء على يد راشيه وارنوس ، سنة1939 . تأثير المورفين على الغطاء المعدوي من قبل ب . پورشير ، سنة1944 والدرامة الكافية للمعي الرفيع من قبل شيريجي ، سنة1950 ، في حين أن دراسة المعي الغليظ « الكولون » ، تعود إلى بداية القرن مع هانيش واوبورغ اللذين اوصيا بالامتلاء الذي أضاف إليه فيشر وليدو ـ ليبارد النفخ ، وكنوث التفريغ . وفي سنة 1931 يحمل ظهور سبر بوليكن على جعل الفحص أكثر سهولة . وأخيراً أوضح موندور وپورشر وأوليفيي الفحص المستعجل الضروري للجوف .

ولكن إلى جانب الاستكشاف الهضمي ، يجب أن نذكر أن شوفاليي جاكسون ، حقق سنة 1918 أول تصوير للرئتين عند الإنسان وذلك عن طريق نفخ مسحوق البيسموث بواسطة الكاشف القصبي الخاص . وفي سنة1921 اتاح عمل سيكار أول صورة قصبية للوجع الشحمي . وفي سنة 1945 أنشأ دونر في الولايات المتحدة أول معالجة للوجع الشحمي بواسطة السولفانيلاميد . في

حين استخدم موراليس وهوينكل، في السويد وفيشر في سويسرا المحاليل المائية الا بتلاعية من نمط يودورون B، وذلك سنة 1948 .

ويعود تاريخ أول محاولة لتصوير الاجهزة البولية إلى سنة1897 على يد توفيه Tuffier ، وأول محاولة تصوير الخلايا إلى سنة 1905 من قبل وولف وأ. شونبرغ ، في حين أن أول استكشاف كليوي انتظر حتى سنة 1918 مع كاميرن الذي أدخل اليودور ثم برومور الصوديوم . وفي سنة 1914 تمت أول محاولة لتصوير الانسجة من قبل كاري الذي استعمل كولارغول . وفي سنة1918 نجح دانذي بأول تصوير للبطين عند الانسان .

وفي سنة1921 عمل الاستعمال التصويري الاشعاعي الذي قام به سيكار وفورستييه بواسطة ليبيودول لافي على إعطاء التشخيص بواسطة الراديو خطوة كبيرة إلى الامام ، مما فتح المجال امام العديد من المشتقات اليودية ومما اتاح زيادة الكثافة ، مع تقليل سمومية المادة المستعملة . وفي سنة1921 كانت ولادة التصوير النخاعي أو تجربة ميكار . ولكن أكبر ثورة راديولوجية قدمت عن طريق المكثفات هي إمكانية إستكشاف الجهاز الوعائي .

إنه لشرعي أن ننوه بفضل المدرسة البرتغالية، لما قدمته من مساهمة استثنائية في هذا المجال. في سنة1929 أوجد ر . دوس سانتوس التصوير الفوتوغرافي للأبهر . في سنة1930 نشر هـ . مونتيرو ، آ . رودريغز . ر . دي كارفالهو وس . بيريرا أول صور لمفاوية . في سنة1931 أنجز إيغاز مونيز أولى الصور للأوردة الدماغية . وبين الالماني و . فورسمان (1929) أولى الصور للاوعية التنفسية ، وقد حققها على نفسه بعد أن حقن جسمه بواسطة مسبر أدخله في الاوردة الاطرافية إلى قلبه . ولكن ك . بيريرا وغارسيا من كوبا ـ لدى الطفل ـ سنة1937 ، ورويب ، وشتينبرغ وهـ . طوسيغ من نيويورك ، في سنة 1938 هم الذين أنشأوا تقنية تصوير الأوعية القلبية كما هو مطبق حالياً في المؤسسات التي تعنى بالقلب ، في العالم أجمع . وأخيراً تم تصوير النزيف الوريدي لاول مرة على يد ر . دوس سانتوس سنة1935 . ورأى تصوير المرارة النور سنة1924 عندما نشر غراهام وكولي من نيويورك اعمالهما حول العتامة الاصطناعية للمرارة بواسطة ملح سودي مثلف من تتراكلوروثم تترابرومو ـ فتالين الذي استبدله ويتاكر وميليكن سنة 1925 بالتترايودو فتالين . ولكن ليبن . ولكن مع سندسترون ، سنة 1928 أعطى التعتيم عن طريق الفم صوراً صالحة تحسنت فيما بعد على يد (بويدن) ونظراً لسهولة هذا الأسلوب فقد حل محل الطريق الوريدي إلى أن ظهر البيلغرافين سنة 1953 الذي أتاح لأوّل مرة تعتيم الطريق الرئيسي بشكل منتظم .

وأدخل تصوير مجرى الصفراء بعد العملية سنة1922 على يد ميريزي وبيراز وبين ج . ماليه سنة1925 كل أهمية هذا التصوير . وحوالي سنة1930 ألح كارولي وج . ماليه وميريزي على اهميتها بحسب العملية مضافاً إليها قياس الضغط بواسطة الاشعاع . وأعطى ظهور جزيئات سداسية اليود في – امض (di) (3 كاربوكسي ، 2 4 6 تريود انيليد) الدهني ، نفس المعلومات قبل أو خارج كل تدخل ، واتاح استكشاف حالات إلتهاب المرارة . وفي سنة1928 عندما خطر لروزيلو أن يضيف البولة إلى يودور الصوديوم (كزلاق) ، عُثر على الطريق الأخصب في الإستكشاف التصويري الإشعاعي للمجاري البولية .

وفي السنة التي تلت استخدم ڤون ليكتنبرغ سلماً كبيراً نوعاً ما عند الإنسان هو : أوروسلكتان ؛ وعندها نشأت (أورو غرافيا I.V) أو علم تصوير المجاري البولية . وحَسَّنَ كوليز وبرغمان هذه الطريقة سنة1930 بالحصول على صور مورفولوجية (شكلية) بواسطة ضغط القناة البولية فوق المضيق الاعلى ، وفي سنة1954 حصل (لو بوشار) ، باستعمال الهيالو رونيداز على تصوير المسالك البولية بالطريقة العضلية ، المفيدة جداً بالنسبة إلى الرضع .

إن التصوير الإشعاعي للرحم مدين إلى الليبيودول وقام (بورترت Portret) سنة1922. ثم (ك هوسر Hauser) وكريلي في الارجنتين بتطوير العملية . وفي فرنسا جعلها مطبقة بسهولة كل من (ر . ليدو ـ ليار ، وك . بيكلير ، ج . دالساس ، مدام فرنسيليون ـ لوبر ، بالمر ، وبولسفورد) ثم بفضل تقنيتهم المنتظمة استطاعوا أن يزيلوا المحاذير التي كانت تضغط عليها .

اما استكشاف الجهاز العصبي المركزي ، فإذا كان قد استكمل بفضل تصوير الشرايين ، فقد اعطى نتائج جيدة بفضل الفروقات المضيئة (التباين الضوئي) .

أما تصوير البطين الذي قام به (داندي Dandy) فيعود تاريخه إلى سنة1918 . وفي سنة 1940 أنشأ (بلوّني) تصوير المخيخ . وحوالي سنة1952 حسن (روبرتسون) (ولينذغرين) القابلية تجاه الطريقة بدعوتهم إلى التصوير الدماغي المجزأ الذي اعتمده (دافيد ، روغجيرو) و (تاليراك) .

وخارج نطاق تصوير البطين قدم التباين الضوئي الواضح خدمات كثيرة . منذ سنة1902 بين (بيكلير) سهولة دراسة النسيج الرئوي بفضل الهواء الموجود بين الجيوب ، ونصب نفسه داعية متحمساً للفحوص الجماعية من أجل اكتشاف السل . وتبعه في هذا الطريق (شينز) في سويسرا . ولن نعود إلى الفحوص بواسطة التفاوت المزدوج للأنبوب الهضمي . وإذا كان أسلوب تنفس ـ كلية الذي قال به (كاريلي) قلما يستعمل وإذا كان أسلوب التنفس ـ الصفاقي قد تراجع تراجعاً لا يستحقه ، فإن اسلوب التنفس الصفاقي الارتدادي الذي وضعه الاسباني ر . ريفاس Rivas ، والذي ظهر سنة1947 ، والذي طبق في فرنسا من قبل ل . دي جين de Gennes وج . ب . ماي May سنة1950 ، يدل ، بشكل واضح ، على محيط الكليتين والغدد فوقهما . وأخيراً أن التصوير الاشعاعي النسائي ، الذي أوجده غوتز وروتنبرغ ، سنة1918 وطوره كولييز . سنة1919 قد عاد إلى الظهور من جديد بفضل بتوليير ، غروس وڤيرهارغ .

وبعد هذه السلسلة الطويلة من الاعمال ، بقيت المسافة العصبية والانسجة الطرية وحدها غير مستكشفة . فيما خص المسافات العصبية لن تتطور المحاولات التي قام بها برونر سنة1932 . أما الأنسجة الطرية فإن تحسين وتظهير الكليشيهات بالتنميط الالكتروني ، قد شكّلا تقدماً بفضل تكاثر التفاوت الضوئي الناتج عنها . إلا أنه بخلال هذه الحقبة التي كان فيها التفاوت هو العنصر الأساسي ، فقد ولدت ثلاث تقنيات يشكل ما قدمته حلولاً جديدة : تفارق الصور بواسطة الراديوغرافية أو التصوير الاشعاعي ، من خلال القطاعات ، وتضخيم هذه الصور بواسطة المضخم البراق ، ثم مضاعفة هذه الصور بواسطة السينما التصويرية الإشعاعية .

ومبدأ التصوير بالأشعة القطاعي يعود الفضل فيه إلى الفرنسي بوكاج . وفي سنة1930 قدم فاليبونا من جنوى أول حل عملي وسلسلة لا تنقطع من الاعمال ، واعطته هذه التقنية شهرة عالمية ، بحق . والمضخم البراق مشتق من اعمال الاميركي شمبرلن (1942) حول البريق واللمعان . وكان مبدأه أن يعطي بصورة الفليورسان فوق الشاشة الأولى طاقة إضافية مأخوذة من حقل كهرمغناطيسي ، دون تقليل تدرج القيم المختلفة .

وفي سنة1950-1951 انجز يانكر من بون أول فيلم جدير بهذا الاسم ذي لقطات متتالية من 15 ثانية ، إتما تحت 105 k V و200 M A لقاء شعيع محظور تماماً مقداره 450 r . وإلى پورشير Porcher وإلى نوا Noix في سنة 1954 ، يعود الفضل في تحقيق إنجازات ذات قيمة حقيقية بفضل إستعمال المضخم البراق أو اللماع .

وفي مطلع سنة1945 مات أكثر من مئة ألف شخص في لحظات نتيجة الاشعاع المكثف . وتحولت الالوف من الاشخاص الاخرين إلى معاقين ، كما أن ذريتهم بقيت موسومة بالشعاع . وأيقظت المأساة الضمير العلمي . وهذه الأحداث تشبه تلك التي تتسبب بها إشعاعات إكس المكثفة أو الاجسام ذات الاشعاع الناشط . وهذه الاشعاعات معروفة . فمنذ 1897 لوحظت أولى الحرائق الاشعاعية للجلد أو إلتهاب الجلد الاشعاعي . وقد اصيب في ذلك الوقت الباحثون والاطباء الذين يستخدمون الاشعة واختيار الطرق المختلفة المستعملة في مجال الفحص الاشعاعي .

وبقيت معرفة المعايير الاشعاعية المطلقة عشوائية لمدة طويلة (قرص سابورود ونواري ، والمقياس الاشعاعي الملون لكينبوك. ومقياس الزخم عند فورستينو وكذلك « H E B » لوينتز) . وحوالي سنة1924 عملت أعمال كريستن وسالومون ، دوان ، دوفيلييه ، وأعمال هولتهوسن (الذي كان أول من اهتم بالمقادير المطلقة اثناء الفحص الاشعاعي) ، واعمال جيفر ، غلوكر ، مينورد ، براغ ، غراي ، فاياومس. كويمبي ، الكثير من أجل قيامس المعيار الاشعاعي . وأنشئت لجنة دولية للحماية من الاشعاع رمز إليها بالاحرف (C I P R) . . . وفي سنة1928 عقد في ستوكهولم مؤتمر وضعت فيه اللجنة تعريفاً للاشعاع « r » الدولي . وفي سنة 1950 ، في مؤتمر لندن ، اعتبرت الوحدة r صالحة للأشعة التي لا تتجاوز3Mev من الطاقة ، وفي سنة 1953 ، في كوبنهاغن اعتمد « R A D » كوحدة للطاقة الممصوصة . وجرى الاهتمام بالمقادير غير المضرة التي يتحملها الأفراد ، والتي حاول موتشلر أن يحدد رقمها بـ 0,25 r يومي ، ولكن اللجنة الدولية ردتها سنة 1950 إلى 300 mr أسبوعياً . وجرى الاهتمام أيضاً بمقارنة ضرر الفحوصات المختلفة .

هناك حمايات متنوعة يمكن تحقيقها بفضل لبس افلام اسنانية حساسة تجاه اشعة أكس واشعة « β » ، باستخدام مقياس فيكتورين الذي صمم سنة1947 ، واستخدام « غرفة ستيلو » التي صمّمها كيلي كيت ، أو غرف سيبرت ، وقد دعا إليها مينورد سنة 1948 ، وهي مقاسة على إلكترومتر ليندمان . في سنة 1949 وضع ماسيوت Massiot مقياسه الصغير ، وأخيراً يتيح مقياس « IE 49 » لمفوضية الطاقة الذرية إكتشاف تسرب الاشعاعات ، بسهولة ، إلى الاماكن أو لدى الاشخاص المويوئين .

وإذا كانت بعض الصفحات تعطي فكرة عن الطريق المجيدة التي اجتازها علم الراديولوجيا

الطبي ، وتدل على نجاحاته ، فيجب أن نضيف أن أي مجال علمي لم يزرع بالاموات مثل هذا المجال ، كما يجب ذكر الاطباء ضحايا هذا الاشعاع الذي يستطيع بآن واحد ان يضلل وان يشفي وان يميت .

II ـ علم الفحص الداخلي

إن الاستكشافات الداخلية الجوفية كانت قد اخترعت في خلال القرن التاسع عشر ، وكانت المكشافات الاولى لديزورمو (1853) قد استعملت في الكشف على الحالب والمثانة والمهبل ؛ ثمّ المكشاف المستقيم لكيلي (1863) ، ثم مرآة الحنجرة التي ابتكرها غارسيا (1855) ؛ ومعيان هلمهولتز (1851) وقد أتاح مراقبة عمق العين . ولكن استكشاف الداخل قد تطور بشكل ملحوظ بخلال القرن العشرين .

واخترع شيفاليه جاكسون ، سنة1918 ، مسبار القصبة الرئوية الذي اصبح اداة لا غنى عنها من أجل الاستكشاف القصبي الرئوي . وحقق كومل مكشاف المعدة سنة1868 ، بدون شك ، ولكن الاستكشاف المعدوي لم يصبح سهلاً وعادياً إلا بواسطة الجهاز المرن المكتشف سنة1932 على يد شندلر . أجرى كوسمول اولى الاستكشافات البلعومية سنة1918 عند احد بالعي السيوف ، ثم تمّ تحسين استعمال هذه الاداة فيما بعد وشيوعها على يد فانسنت ، وغوزر ، وبنسود وهاسلنجر .

وتم أول استكشاف بطني سنة 1910 من قبل كيلنغ Kelling وجاكوبوس Jacobaeus تبعهما رودوك . وتم فحص المثانة والمجاري البولية بخلال القرن التاسع عشر ، ثم تحسن بواسطة كشاف المثانة الذي وضعه بروك ونلز ثم بواسطة كشاف المجاري البولية الذي وضعه مك كارثي (المائي وذي الرؤية غير المباشرة) تم كشاف نورا (على الناشف وذي الرؤية المباشرة) . وقد افاد صنع أجهزة كشف داخلي مصغرة الاولاد من كل الاعمار في الفحص الداخلي وفي فحص الحوض .

وأتاحت الابصاريات الحديثة تقدماً ضخماً في مجال الكشف عن المجاري الضيقة والعميقة . وازداد التقدم باستخدام وسائل فوتوغرافية (تصوير المعدة تحقق لاول مرة على يد بورجس وهالبنر) وحتى سينمائية اليوم .

III ـ الافراغ بالقسطر

في اواخر القرن التاسع عشر ، وبفضل ادوات فريمونت ، فوشر ، اينهورن كانت الانابيب المعدوية والاثني عشرية قد استخدمت . ويعود تاريخ تجربة ملتزر ـ ليون ، بخلال التمييل الاثني عشري إلى سنة1919 . وتم البحث عن العصيبية السُلّية داخل السائل المأخوذ بواسطة التميل المعدوي ، الذي أصبح تقنية شائعة ، سنة1890 من قبل مونييه Meunier . منذ نهاية القرن التاسع عشر ، كان البول يؤخذ من كل جورة ، بفضل تقنية المجس (الظُفير) الذي يتيح توجيه مسبر داخل المثانة (الباران ، 1895) .

وتجدر الاشارة أيضاً إلى عملية النفخ في الانابيب المهبلية المحققة لاول مرة سنة1929 من قبل ملك روين في نيويورك ، والمستعملة كما تصوير الرحم والنفيرين في تشخيص وفي معالجة العقم من منشأ أنبوبي .

وفيما بعد ذلك بكثير أمكن التوصل إلى أخذ الدم من داخل التجوف القلبي . في سنة1929 بين و . فورسمان على نفسه امكانية سحب الدم من القلب بالقسطر بدون أذى . وحقق محاولته بواسطة مسابر مستعملة وشائعة في شؤون البول . واجرى لنفسه صورة (سلبية) لاثبات أن المجس قد دخل إلى قلبه .

في سنة1941 ، نجح آ . كورناند ود . ريشاردس ، بفضل دراسات اجريت بدقة على الحيوان ، في وضع تقنية لا ضرر منها اطلاقاً ، وادخلا السحب القسطري القلبي إلى العيادة .

في نفس الحقبة ، طبق لونيغر في فرنسا عمليات السحب القسطري القلبي على الكلب ، وحصل فيما بعد على قياسات للضغط في التجويفات اليمنى من القلب والشريان الرئوي ، وذلك على 51 مريضاً ومنذ تلك الحقبة ، ولدت تقنية جديدة ، أتاحت التثبت من الاتصالات غير الطبيعية بين التجويفات القلبية أو بين الاوعية الكبرى ؛ وكذلك قياس الضغط داخل هذه التجويفات ؛ ثم جمع العينات من الدم عند مستويات مختلفة ثم بعد تعيير الغاز ، حساب الدفق القلبي (حساب اعلن فيكٌ عن مبدئه سنة1870) ؛ ثم تقدير عمل مختلف التجويفات القلبية والمقاومات الاطرافية ، سواء الرئوية ، أم النظامية . إنه بفضل هذه التقنية امكن التوصل إلى تقويم سطح ثقب صمامي ، مثل الثقب التاجي (القلنسي) ، ثم معرفة قياس ومقدار ضيقه (غورلن وهابنس ، 1950) . وكذلك تم مباشرة استكشاف القلب الإيسر ، أما عن طريق السبر القصبي ، وقسطرة مباشرة للاذين الايسر (فاكّت ولموان ، 1952) ، وإما وفقاً لتقنية بجورك (1953) ، عن طريق الملامسة الخارجية عبر غشاء الاذين الايسر .

IV ـ الفحص الإحيائي والتقنيات المجهرية

يجب أن نصنف ضمن عمليات الفحص الداخلي ، عمليات البزل (السحب)والفحص الإحيائي التي جعلتها التقنيات الحديثة ممكنة . إن معظم عمليات القسطرة تسهل الاقتطاع . ولكن الاعضاء المليئة تبدو نهائياً بمنجىً من كل استقصاء . ولكن بالامكان اليوم البزل أو الاقتطاع بسهولة من الاعضاء ، ثم ، بعد الفحص المجهري للاجزاء النسيجية المسحوبة على هذا الشكل ، نحصل على معلومات ذات قيمة عالية جداً .

لقد تم أول اقتطاع مخي على يد بيانيز سنة1903 ؛ والاقتطاع من مخ العظم بعد ثقب الظُّنْبوب (تيبيا) ، ورأس الحرقف ، وخاصة عظم القص ، أصبح تقنية شائعة ، على اثر بحوث غيديني (1908) ، سيفارث (1922) ، آرينكين (1927) .

إن سحب اقتطاع الكبد قد انتشر بفضل اعمال سيلفرمان (1938) ، ايفرسون (1939) ،

بـارون (1939) . ويضع (بـزل) العقـد اللمفـاويـة ، والـطحـال ، المستعمـل في بـادىء الامر لاكتشاف الجراثيم ، يستعمـل اليوم من اجـل التشخيص الخلوي . وفحص الخصية الإحيـائي ، والجسم التيرودي (الغدة الدرقية) أصبـح شائعـاً مثل فحص الجلد . وبـدأ البزل الخـزعي للكلية (ايفرسون ويرون ، 1951) . نذكر أيضاً التقدم الحاصل بفعل تقنية الفروتيس [شفيفيـات = فرش رطوبة للفحص مخبرياً] المهبلية (بابا نيكولّوْ ، 1933) .

لقد أتاحت هذه الاقتطاعات استخدام المجهـر ، ليس فقط من أجل الاعمـال المتعلقة بعلم البكتيـريـا ، ثم للبحث عن الجـراثيم المتكـونـة ، ولكن أيضـاً من أجـل الـدراسـات الخلويـة ، المحصورة أصلاً بالاعضاء المقتـطعة من الجثث أو من خـلال العمليات الجـراحية ، التـي امتـدت اليوم لتشمل تشخيص العديد من الاصابات الاحشـائية ، الـدمويـة ، والشبكية ـ المبـطنة لـلاوعية الدموية .

لقد استفادت الدراسات الخلوية إلى حد بعيد من تقدم التقنية المجهرية : تقنية فـارق الضوء المرْحلي (كونتراست دفاز) (زرنيك ، 1938) التي اتاحت رؤيـة المكونـات العضويـة الخلوية ، في حالة الحياة ؛ والتقنية المجهرية الالكترونية المـولدة بعد 1945 ، التي بينت تعقيدات الخليـة الحيـة ، العجيبة ، وأتـاحت دراسة التـنظيم الادنى من المجهري في البـروتـوبـلاسمـا ، ومعـرفـة العناصر المكونة لها ، مما ربط بالتالي المورفولوجيا (علم التشكيل) بالبيوكيماء ، وبالفيزيـولوجيـا (راجع الفقرة I ، الفصل I من القسم الرابع) .

وأخيـراً ساعـدت تقنيات جـديدة على التقـدم المهم في معارفنـا الخلوية : زراعـة الانسجة (هاريسون ، 1907 ؛ كارِّل وايبيلنغ 1910)؛ تطور الجراحـة الميـكروسكـوبية (شـامبرس ، 1924) التي سوف تتيح الدراسة التجريبية للبروتوبلاسما الحيـة ، ولدور النـواة ؛ الوراثـة الخلوية، تموضع الجينـات داخل الكـروموسـومات ؛ نهضة الكيمياء النسيجيـة (پـوليكـارد ، ليزون 1918 -1940) ؛ تصـوير الانسجـة (لاكاسـانيه ولاتس ، 1924) وهي تقنيـة في اوج نهضتها اليـوم ، منـذ اكتشـاف النظائر المشعة الاصطناعية .

V ـ التقنيات البيوفيزيائية والبيوكيميائية

خارج التصـويـر الاشعـاعي (راديـولـوجي) والمجهـريـة (ميكـروسكـوبي) ، استفـادت الـدراسات البيـولوجيـة إلى حـدٍ كبيـر من المسـاعـدة المقـدمـة من أجـل استكشـاف العـديـد من الاختراعات في مجال العلوم الفيزيائية والكيميائية .

التصوير الاشعاعي الكهربـائي ـ اقترحت هـذه التقنية سنـة1844 من قبل مـاتوسي ، وطبقتْ لاول مرة على القلب البشري ، بواسطة غالڤانومتر شعيـري ، من قبل آ . د . والـّر سنة1887 ، ثم دخلت في التـطبيق الـطبي بفضـل المعـدات البـديعـة التي وضعهـا و . انتهـوفْن سنـة1903 . إن الغـالڤانـومتر ذا الـوتر ، الـذي وصفه هـذا العالم ، اتـاح نهضة التصـوير الكهر إشعـاعي ، وبقي استخدام هذا الجهاز مطبقاً في العديد من المختبرات . إلاّ أن استخدام التصوير الكهرإشعاعي بواسطة المضخم قد تعمم ، وبعض بداثله تستعمل بدلاً من الغالڤانومتر ، أنبوب إشعاعات كاتودية .

وبفضل التصوير الكهربائي الاشعاعي ، فهمت بصورة أفضل ، اتمتات (اوتوماتيسم) ونظام التوصيل القلبي ، الذي يعود تاريخ معرفته إلى آخر القرن التاسع عشر وإلى السنوات الأولى من القرن العشرين . خاصة وأن هذه التقنية قد اتاحت الوصول إلى تقدم ضخم في دراسة مسار الموجة التقلصية التي تعتري القلب . إن اعمال ليويس Lewis (1925) حول التجمد الضمني (Déflexion) واعمال غولدبرجر (1942) حول السهام القلبية (Vecteurs) ؛ واعمال ف . ن ويلسون ومعاونيه (1933-1950) حول مفهوم الموقع الكهربائي للقلب ، وضمور التجاويف الأذينية والبطينية ، واضطرابات التوصيل ، والتناقص البطيني ، وجدوى الانحرافات المختلفة ، وخاصة الانحرافات قبل الحبال قد أتاحت فهم تولد الكهرباء القلبية . وقدمت للعيادة القلبية العون الاثمن لإحراز تقدم ثوري في علم القلب (كارديولوجي) .

أتاحت هذه الانجازات ، ليس فقط توضيح وتحديد التواتر القلبي واضطراباته ، بل اتاحت بشكل خاص اكتشاف الاصابات الأكثر دقة ، في وعائية نسيج القلب العضلي الذي تعتبر أهميته عظيمة في أمراض القلب في النصف الثاني من الحياة . وجهدت الدراسات المتعلقة بالصور القلبية (مان 1920 ، سولزن ودوشوسال ، 1936) وهي تضم في خط بياني واحد مختلف انواع الاسهم الدالة على النشاط الكهربائي للقلب ، أن تحل المسائل التي ما تزال عالقة فيما يتعلق بتوليد الكهرباء القلبية .

التنصت إلى حركات القلب (فونو - كارديو - غرافي) - هذه التقنية قد استفادت من الاكتشافات الفيزيائية ، فضجيج القلب وتنفساته ، تدون فوق رسيمات تسجل حركات القلب ، وتلتقط بشكل كرونولوجي (اينتهوفن، 1907؛ ويغجرزودين، 1917-1919؛ دوشوسال، 1928) .

التسجيل الكهربائي الدماغي - في سنة1924 حاول هانس برجر ، وهو باحث منفرد ، كان ينظر إليه كمنجم، أن يقنع علماء الفيزيولوجيا بحقيقة ذبذبات الضغط التي كان يلتقطها عبر الجمجمة .

وقد سبق في سنة1875 أن استطاع كاتون أن يسجل ضغوطات الدماغ ، في سنة1894 بيَّن ڤان ماركوف وبيك ثم غوتش وهورسلي أن النشاط الكهربائي في القشرة الدماغية (كورتكس) البصرية يتعاقب مع لمعان العينين ؛ في سنة 1925 استطاع نيمنسكي أن يصف موجات ذات تواتر معيَّن سماها الذبذبات الكهربائية الدماغية .

ولكن برجر هو الذي سجل سنة1924 (أعمال دوِّنت ونشرت سنة 1929) أولى الذبذبات الكهربائية الدماغية ، عبر سلخ جلد الجمجمة من رؤوس أشخاص لديهم ثغرات جمجمية ، ثم عبر الجمجمة . ووصف التواتر بين 8 و 11 دورة في الثانية مع ميل قذاليّ (إلى مؤخرة الرأس) كما سجل ردّة فعل التوقف . وأكد أدريان وماتيوس سنة1934 هذه النظريات وبينا بأن تغيرات الضغط تعود إلى النشاط الكهربائي في القشرة الدماغية .

وبين سنة 1929 و 1936 تتابعت الدراسة حول القشرة الدماغية بفضل المسجل الكهربائي الدماغي : تطور المسجل الكهربائي الدماغي عند الإنسان (لندسلي 1936) ، والتخطيط أثناء

النوم (دافيس ولوميس ، 1935 -1937) ، وضبط واعداد المقياس الكهربائي الدماغي (دوروب وفيسار، 1935) .

وتم وصف مظاهر جديدة للتواتر الدماغي : أنماط التفاعل التوقفي قد توضحت ؛ كما درست شروط التفاعلات الكهربائية القشرية من قبل العديد من المؤلفين ؛ وكانت التغيرات الايضية موضوع العديد من الاعمال (بريمر 1936 : مفاعيل نقص الاوكسجين في الأنسجة ؛ موروزي ، 1938 : مفاعيل نقص السكر في الدم (هيبوغليسمي) ؛ ليبرسون وشتروس ، 1941 : مفاعيل عسر التنفس) . وكان الصرع (داء النقطة) منذ 1935 ، موضوع دراسات عدة . إن اهمية التصوير الكهربائي الدماغي (E. E. G) من أجل تشخيص الاورام والدمامل الدماغية (والتر ، 1937 ، كورنمولر ، 1936) قد ثبتت كذلك خلال الارتجاجات الجمجمية (وليامس ، غلازر Glaser ، ساياردينا Syaardina ، والتو ، 1942) والإصابات العامة والأيضية .

إن التصوير الكهربائي الدماغي (E. E. G) يشكل فحصاً مفيداً من أجل تشخيص ووصف العديد من الامراض الدماغية . وهو يقدم معلومات مهمة فيما يتعلق بانماط وظائف الجهاز العصبي المركزي . إن التشخيص الكهربائي للمحفز قد قنن من قبل (فلوجر Pfluger) سنة1920 وطبِّقت الكروناكسي [وحدة زمنية تقاس بها انفعالية الانسجة الحيَّة] على الانسان من قبل بورغينيون سنة 1924 لدراسة العصب والعضل والوظائف الحسِّية الحساسة .

الوصف الكهربائي للعضلات ـ إن هذه التقنية القائمة على تسجيل وتحليل تغيُّرات الضغط الكهربائي ، أما في العضلات الكاملة (التصوير الكامل) ، وأما في عناصرها (الوحدة المحركة ، والالياف العضلية) قد كانت موضوع العديد من الاعمال . ومن سنة1907 إلى 1912 حقق هـ . بيير ، التسجيلات الاولى في التصوير الشامل للعضلات . ولكن التصوير الشامل للعضلات لم يحقق تطوره الكامل إلا بعد عزل نشاط الوحدة المحركة التي قال بها شيرِّنغتون ، والذي حقّقه ادريان وبرونك سنة1929 ، بفضل الابرة المزدوجة المحور التي تحمل اسم هذا المؤلف الاخير .

وحاولت بعض أعمال ديني ـ برون ، وأعمال لندسلي مقاربة علم الامراض (باثولوجيا) . وليس إلا بين 1940 و 1945، وفي مختلف البلدان أدت إفادة علم الأمراض من التصوير الكهربائي البدائي للانسجة إلى امكانية وصف العارض الكهربائي التصويري للانسجة ، في مختلف الامراض .

في سنة1940 ، قدم سيفارت مساهمة أساسية في سلوك الوحدة المحركة بخلال التقلص الارادي ، مستعملاً لهذا الغرض الطواعية التي تقدمها العضلة الضامرة ، بفعل الشلل ، وربط بوكتال وكليمانسن اسميهما بالتفريق بين الضمور العصبي المولد والعضلي المولد (1940 - 1941) .واكتشف س. تاور (1938-1941) ، سولاندت وماغلاديري (1941) التليف أثناء الضمور الناتج عن فقد العصب . وعكف وذْلْ على دراسة الاصابات الارتجاجية للاعصاب (1943 - 1945) . وقام تورين ، لوفيڤر وليريك (1943) بوصف النشاط الإيقاعي أثناء الإصابة بالكزاز ، دراسة عاد إليها كوجلبرغ سنة 1948 بفضل ربط العضو المصاب بفقر الدم الموضعي . ودرست الأمراض

العضلية من قبل كوجلبرغ (1949) . وحقق لوفيڤر ، ليريك وديكلو وشامبلان (1947) أوّل تحليل للرشقة العضلية التوترية ، ودرس ماسلاند وويغتون (1944) والاجوانين ، لوفيڤر وشيرر (1949) الحزمات والمغوصات التي يحدثها البروستيغين .

إن الحفز المقرون بالتسجيل قد تحقق من قبل هـارڤي وماسـلاند (1941) في دراسـة الوهن العضلي ومن قبل كوجلبرغ وسكوغلوند (1946) من أجل تحليـل ظاهـرات تضـبيط القابليـة للتحفز العصبي . وهذه التقنيات الاخيرة التحفيزية والاكتشافيـة تستخدم الآن كـل يوم في مجـال التصويـر الكهربائي العيادي للأنسجة .

تقنيـات قيـاس السـمـع ـ بـدلاً مـن التـجـارب حـول الأصـوات ، وحـول المـرنـان جـاء المقيـاس السمعي . والمقـاييس السمعيـة الاولى تعـود إلى سيشـو (1902) وإلى شـوارتـز (1920) . في سنة 1921 ، صنع غوتمان أول مقياس سمعي حديث ؛ سنة 1922 ، وضع فولر وويغل أول مقياس سمعي معير بالدسبيل . في سنة 1928 اكتشف فولر ، اللقطات التي تساعد على تحديد مواضع إصابة المجاري السمعية . في سنة 1941 ، ابتكر ديكس وهالبيك طريقة الانعكاس المشروط (Peep-Show) لدراسة سمع الأطفال بين 3 و 7 سنوات . في سنة 1948 ابتكر بوردلي وهاردي طريقة الانعكاس الكهربائي النفساني Psychogalvanique ، للبحث عن حالة السمع عند الأطفال من سنة إلى 3 سنوات .

تقنيات فحص باطن العين ـ اضيف إلى منظار العين الذي وضعه هلمهولتز ، اجهزة جديدة : منظار كهربائي ذو رؤية مباشرة ، منظار عملاق ثنائي وضعه غولسترانـد ، بيوميكـروسكوب او لمبـة ذات شق تتيح ، عند مستوى المواضع الشفافـة ، احداث قـطع بصري حقيقي ثم فحص القرنيـة ، والغرفة الداخلية والقزحية ؛ وبعض نمـاذج الزجـاج التلامـي من مـادة بلاستيكيـة تحتوي مـرآة أو موشوراً ، وكلها تتيح استخدام افضل للبيومكروسكـوب . أما الفحص الغـونيو سكـوبي فهو فحص الغرفة الـداخلية بين القـرنية والقـزحية وراء حـدود الدائـرة (لامب) والتي لا تكون مـرئية عـادة ؛ وهنـاك نماذج تتيـح فحص الشبكية بـواسطة اللمبـة ذات الشق وما فيهـا من ميزة مـزدوجة من حيث الشعور بالنافر ، ومن حيث القطع البصري .

النظائر المشعة ـ إن النظائر المشعة تتيح تتبع عملية الايض واستعمالها في مجال البيولوجيـا قلما يعود الاإلى اكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي (ف . جوليوت ، وجـوليـوت ـ كوري ، 1934) واستخدام المصادر القوية للعناصر الاشعاعية الاصطناعيـة . وهناك العـديد من المئـات من النظائر المشعة بتصرف علماء البيولـوجيا ومن بينهـا كل العنـاصر تقـريباً ذات الـدور الحيوي . في الوقت الحاضر تستخدم النظائر من أجل التشخيص ومن أجل المعالجة . وأكثرها استعمالاً هو اليود النشيط الاشعاع الذي يستخدم لاستكشاف الوظيفة الدرقية .

وكلما ازداد افراز الغدة الدرقية من الهرمونات كلما ثبت اليود ، ولكن كميات اليود المستعملة هنا ضئيلة للغاية ؛ من عيار عدة شعرات من الميكروغرام في اليـوم ، ومن المستحيل ، عن طـريق الوسائل القديمة تتبع مسار اليود في الجسم ثم تقدير كمياته . ومن أجل جعل العملية مرئية ، إذ أعطينا الشخص كميات كبيرة من اليود ، فإنّها تثير الاضطراب في الوظيفة الدرقية وتشوّش الظاهرة ،

مما يحرم الملاحظات المحدثة ، كل فائدة . ويتيح اليود المشع قياس الجزء من اليود الممتص من قبل الغدة الدرقية ، قياساً دقيقاً ؛ ودقة هذه الطرق تمكن من تعيير كميات تقل عن جزء من الألف من الميكروغرام . إن اليود المشع يمثل الطريقة الأكثر أماناً من أجل تقدير القيمة الوظيفية للغدة الدرقية ، ثم تقويم كمية الهرمون الذي بوجوده يتوجد العيب أو النقص في عملية الأيض المسؤولة عن مثل هذا الخلل في الوظيفة الدرقية .

ويمكن بنفس الشكل درس ـ بفضل الحديد المشع ـ تركيب الهيموغلوبين ، وتشكل الكريات الحمر ، وبفضل الفوسفور المشع يمكن درس تركيب الدهن الفوسفوري ، وبفضل التيميدين المطعم بالتريتيوم ، يمكن فحص تركيب الحوامض النووية ، ويتيح الصوديوم المشع تتبع الحركات الايونية (المغناطيسية) عبر الاوعية أو الاغشية الخلوية ، ثم استكشاف تساريها ، وبفضل البروتينات المطعمة باليود المشع يمكن قياس حجم البلاسما ، وتقدير الاحتياطي البروتيني في الجسم أو البحث عن وجود ورم دماغي ؛ وبفضل الكروم المشع يمكن تعليم أو وسم الكريات الحمر وقياس مدة حياتها . وهكذا يقدم استعمال هذه التقنية الجديدة مقياساً كمياً ومركباً للتفاعلات الايضية الاكثر حميمية ، ويجعلنا وجهاً لوجه أمام فضاءات الانتشار ، والحقبات البيولوجية ، والمخزون الايضي والرساميل التبادلية ، ومعدل وسرعة التجدد ، ويوصلنا إلى المفهوم الدينامي لعمليات لا تتوقف من التقهقر ومن إعادة التركيب .

طرق تكسير البروتينات ـ إن هجرة الخلايا البروتينية تحت تأثير الحقل الكهربائي ، وتطبيق هذا المبدأ على دراسة أو على فصل مختلف الكسور البروتينية في المصل ، كانت موضوع بحوث عدة ، منذ أن وضع آ . تيسيليوس ، سنة1937 ، بتصرف المجربين ، جهازاً يسمح بفصل ـ نوعياً وكمياً ـ هذه الكسور البروتينية ، منشئاً بذلك النقل الكهربائي .

على أثر النقل الكهربائي الحر أو النقل الكهربائي الحدودي ، تم انجاز تقنية النقل الكهربائي على الورق أو النقل المناطقي (أ . ل . دوروم ، إينكل ، هـ . د . كريمر وآ . تيسيليوس ، 1950) ، تقنية ادخلت إلى المانيا من قبل و . غراسمان وك . هاننغ ، وإلى فرنسا من قبل ماشيبوف وريبيروت سنة1953 ، مما أتاح ، بحسب الملونات المستعملة ، القيام بعمليات قياس للبروتين غرام شاملة ، ليبيدوغرام ، غليكو ـ بروتينوغرام . وأخيراً جاء دور النقل الكهربائي بشكل تجميد (جلوز) وهي عملية وصفها غوردون ومساعدوه سنة1950 ، ثم عملية المناعة بالنقل الكهربائي التي وضعها پ . غرابار ووليامز (1952) التي أتاحت فصل الكتل البروتينية الخام ، ونقل النشاء إلى عجينة (جل) (سميتيز، 1955) عملية كشفت عن الفروقات الوراثية في المكونات المصلية .

وهناك طرق أخرى لتكسير البروتينات ظهرت في السنوات الاخيرة مثل طريقة كوهن (1946-1949) التي أمنت اثبات الوظيفة الفيزيولوجية التي تلعبها الكسور المختلفة داخل البلاسما ، والتي أوجدت نمطاً جديداً من العلاج هو المشتقات البلاسمية . أما التصوير التلويني ، الامتصاصي ، فوق مبادلات للأيونات ، وكذلك التصوير التلويني الاقتسامي فوق عامود أو فوق ورقة ، على مرحلة غازية أو بواسطة التقنيات النظيرية الاشعاعية ، هذه الصور الملونة ثمينة لدراسة الحوامض الأمينية المصلية والبولية ولدراسة السكاكر .

إن الكتلة الجزيئية المؤلفة من البروتينات قد تقاس بالنابذة ذات الدوران السريع (سفيدبرغ ، 1928) قدمت عمليات سبر مختلفة منها : (التندف ، تاكاتا ، 1930 تجربة الترئيس الكولسترولي ، هانجر، 1939؛ تجربة ماكلاغن بواسطة التيمول، 1944؛ تجربة سولفات الزنك ، كونكل ، 1947 ؛ تجارب غروس ، ولتمان وغراي) كلها تقدم شهادة سريعة ومحسوسة حول الشذوذات المصلية ولكنها تطرح عوامل متعددة .

ونظر إلى دراسة البروتينات البلاسمية كدعم للخصائص الفيزيولوجية أو المرضية ، ولوحقت بنشاط . في سنة1935 وصف كويك الطريقة في وقت تعيير البروثرومبين (خميرة ليفية) ، وهي مرحلة تقنية أساسية في مجال التخثر ، وهي طريقة تستعمل يومياً تحت اسم وقت كويك . في سنة 1943، وصف كويك طريقة تسمح بدراسة استهلاك البروثرومبين في الدم الوريدي وسنة 1947 ، طبقها على الإشارات الدالة على وجود نزف . في سنة 1951 وضع هارتيرت مقياس الجلطة الدموية ، وهي طريقة فيزياء لاستكشاف التخثر .

ونجح كوهن وتلاميذه في عزل الكسور المختلفة من الكريين ، ونجح في تبيين دور الغاما كريين ، في وظيفة انتاج المضادات .

وبذات الوقت تكاثرت المعايير الانتقائية بواسطة الطريق الكيميائية ، من أجل قياس مختلف المكونات المحددة الموجودة في البلاسما مثل : غليكوبروتين ، ليبوبروتين (دهن)، أنزيمات، الخ ، وهي تقنيات تردنا إلى مجال التعيير الكيميائي .

عمليات التعيير الكيميائي : إن النهضة المدهشة التي أصابت الكيمياء الإحيائية وشاهدت إزدهار هذا العدد المدهش من الاكتشافات حول الفيتامينات والهرمونات وتشكل الأنزيمات ، والأكسدة عند مستوى الخلايا ، والمناعة الكيمائية ، قد أتاحت جزئياً كشف النقاب عن كمية من الظاهرات الفيزيولوجية والتفاعلات المرضية . ونتج عن هذا التقدم ثلاث نتائج خصبة :

أ ـ قدم البحث البيوكيميائي مساهمة رئيسية من أجل حل المسائل الفيزيولوجية الرئيسية ؛

ب ـ إرتكز فحص المريض على معلومات يقدمها مختبر الكيمياء ؛

ج ـ وضع الكيميائي بين يدي الطبيب الممارس عدة عديدة من وسائل التطبيب من الدرجة الأولى .

إن المواد القصوى في المادة الحية قد أصبحت اليوم معروفة بصورة أفضل في الطبيعة ، من حيث نسبها الوزنية وأشكالها والقوى التي تجمع بينها ، وطاقة الارتباط بالماء فيها ، الماء هذا المذيب الحيوي . وبفضل أعمال غمبل (1936-1947) ، دارو (1944-1950) دود (1949) غيست (1950) ، ماش (1946) ، اصبحت اليوم معروفة قوانين التوازن المائي والكهربائي ، والتوازن بين الحوامض والركائز ومنظماتها التنفسية والكليوية . وتكونت على أساس هذه المعلومات الكيمياء الطبية المتعلقة بعدم تزويد الدم بالأوكسيجين ، الحوامض السكرية والقلويات السكرية ، مما فتح المجال أمام فصول جديدة في علم الأمراض ، الأمر الذي مكن من الحصول على مكتسبات رائعة في مجال تقنيات التنعيش وكذلك في الأدوية الفعالة .

وأصبح اليوم معروفاً التركيب الأيوني في الجسم البشري والتوازن بين الحوامض والركائز في

الدم ، وكمية البروتينات ونسبتها ، والدهنيات ، والغلوسيد المصلي ، واستكشاف الحديد المصلي، وطبيعة الهيموغلوبين والدراسة البيوكيميائية للكبد ، والجهاز الهضمي ، والعظم ، والعضل ، وسائل النخاع الشوكي ، والغدد الصماء ، الخ .

وعلمتنا البيوكيمياء على معرفة وعلى التعامل مع هذه الأنواع الكيميائية الخاصة والفيتامينات والهرمونات والأنزيمات ، والناقلات التي يتعارض نشاطها مع الجمود الظاهر العام في مواد البنية ، هذه المسهلات الإحيائية المرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالبروتينات والمحمولة من قبلها ، والتي يؤدي تدخلها الى التحكم بالنشاطات الحيوية وبكل الأيض ، وتنظيمها ونموها وحركاتها وتناسلاتها . وعرفتنا البيوكيمياء أيضاً على الدور الاساسي لعملية الفسفرة في ظاهرات الأكسدة ونقل الطاقة .

VI ـ التجارب الوظيفية

يتجمع استعمال هذه التقنيات المختلفة وهذه الأساليب المتنوعة الفيزيائية والكيميائية ، بالنسبة إلى العيادي، في زمرة من التجارب الوظيفية المطبقة على هذا العضو أو ذاك .

الكبد ـ من المعروف أهمية عيار البروترومبين (كويك ، 1935) ، والبروكونفرتين (الكسندر ، 1949) ، وسبر التندف من أجل تقدير الوظائف الكبدية .

تضاف اليها تجربة البيلة السكرية المستثارة (دوول Deuel ؛ فيسنجر Fiessinger, 1932) ، دراسة كسرات الكولسترول الدموي (تاماهوسر) ، السبر الهيبوريكوري (كويك Quick) ، سَبْرُ الفيتامين K (كوهلر Kohler) ، سَبْرَاتُ أبعاد الملون ورد البنغال (دلپرات ، 1929) ، والبرومو ـ سولفو ـ فتالبين (روزنتهال ووايت ، 1925) ، تزايد آز النقل الأميني غلوتاميك وأوكزالوستيك (روبلويسكي ، 1955 ؛ دي ريتيس 1955) ، تعيير مكوّن الصفراء (بيليروبين) المباشر وغير المباشر بواسطة طريقة هيجمانس ڤان دن بِرْغ (1913) . ان تزايد البيليروبين المباشر هو دليل على الاحتفاظ الصفراوي ، وتزايد البيليروبين غير المباشر هو إشارة اما إلى انحلال الدم (هيموليز) ، واما إلى إصابة خلوية مكتسبة (كبُادفطري تولدي) أوعدم نضج كبدي (يرقان فيزيولوجي) . ان الدراسة الوظيفية للتنقية الكبدية بواسطة ورد البنغال المكثفة (تايلر 1955) تفيد وتعطي معلومات تشبه المعلومات التي يعطيها البرومو ـ سولفو ـ فتالبين . ان ورد البنغال المكثف يتيح أيضاً دراسة تشريحية ومورفولوجية (شكلية) بواسطة اللمعان الاشعاعي (رينولد ومك انتاير ، 1957) . وتتيح هذه الطريقة تشخيص الورم الكبدي (تفشي المرض واشتراكاته ، الخرّاج ، تولد الطفيليات (پارازيتوز)) . ان الذهب الغروي المنشط اشعاعياً (ڤيتر ، 1954 ؛ فوفرت وبنهاهمو ، 1957) يقيس الانكشاف الكوبفيري أو النشاط المنقي وتأثيره على المواد التجزئية ، مهما كانت الطبيعة الكيميائية ، الذائبة في البلاسما .

الدرقية ـ بينا أهمية تجربة تثبيت اليود المشع في استكشاف الوظيفة الدرقية المتممة أو التي تنوب عن التجربة الكلاسيكية فيما خص قياس الأيض الركيزي (ماغنوس ـ ليفي 1895) .

يضاف الى هاتين التجربتين تعيير اليود (ريكز وسالتر 1951) وكولسترول الدم ، والتأخر في النمو العظمي عند الأطفال الكساحيين (ميكو ـ ديماتي) (ويلكنز وفليشمان ، 1942) ،

والتشويه الخلقي بسبب الغدة الصنوبرية عند الأطفال الممروضين بالصنوبرية والدرقية (ويلكنز ور . دوبري ،1941، 1948) ، والاستجابة لتثبيت اليود المشع على أثر زرقة من المحفز الدرقي (تجربة كيريدو ، 1950) .

الاستجابة الوظيفية الكليوية ـ ان اهمية رقم البولة الدموية قد أثبتت من قبل ڤيدال وجاڤال (1903-1905) . وأهمية رقم البولة في الدم وفي البول قد ذكرت تماماً من قبل آمبارد الذي حدد ثابتتها سنة 1910 . ومفهوم (النقاوة) ، أو معدل النقاء البلاسمي قد تحدد من قبل ڤان سليك سنة 1921 ثم عاد إليه سنة 1928 مولر ، ماكنتوش وڤان سليك فيما يتعلق بالبولة .

إن قياس التصفية الكبيبية قد تمّ عن طريق النقاوة في الكريتانين الخارجي النمو (ريهبرغ ، 1926) ، ونقاوة الإينولين (شانون ؛ 1935) ونقاوة المانيتول سميث وكنكلستين ، 1940) . وقيس الدفق البلاسمي الكليوي بواسطة نقاوة حامض بارا أمينو ـ هيبوريك (سميث 1945) . وأتاحت تجربة ڤولهارد (1914) قياس طاقة الكلية على تركيز وتخفيف البول . واثبات انتظام الحامض والركيزة ، بواسطة الكلية قد تم على يد پيتز سنة 1950 . أما توليد الامونيوم فقد أثبته ناش وينديكت سنة 1921 . وإعادة الامتصاص الأنبوبي قد درست : بالنسبة إلى الغلوكوز (شانون وسميث سنة 1935) ، والحوامض الامينية (دوتي ، 1941) ، والفوسفور (هاريسون سنة 1941) . واعتمد عد الكريات الحمراء المستبعدة في البول بخلال 24 ساعة ، والمقرر من قبل آديس سنة 1948 ، من قبل همبرغر سنة 1950 بشكل عد الكريات في الدقائق . وجرى الاهتمام أيضاً بالاضطرابات الانحلالية التي تميز تطور أمراض الكلية . وأخيراً أتاح النفروغرام النظيري (تابلن وفريقه ، 1956 ؛ مبليز وفريقه 1958) دراسة القيمة الخاصة بكل كلية من الكليتين .

الاختبارات الوظيفية للقشرة فوق الكليوية ـ ان هذه الاختبارات هي مكتسبات من الأكثر تبييناً لأهمية البيوكيمياء الحديثة . ونحن نكتفي بالرئيسية منها .

تعييرُ الحلِّ بالكهرباء (صوديوم وبوتاسيوم) في حالة عدم الكفاية . الدلائل أو السمات « الكهر ـ قلب ـ تسجيلية » للزيادة أو للنقص في البوتاسيوم داخل المصل (كوتلر ، 1938) . فحص مسبري للبول المستبعث (ر . دوبري وج . ماري ، 1938 ؛ روبنسون وفريقه ، 1941) . تعيير الالدوسترون في الدم (پارل 1957) استكشاف الوظيفةالغلوكوكورتيكويدية(الفرز القشري للغلوكوز : تجربة ثورن ، 1953) . التعيير الكيميائي للغلوكو كورتيكويد : في البول (بورتر ، سلبر ، 1950 ؛ غلين ونلسون ، 1953 ؛ بونجيوڤانني ، 1954) أو في الدم (نلسون وساموبل ، 1952) . تعيير سبعة عشر سيتوستيروييد في البول (زيمرمان ثم كالو ، 1938 ؛ جنسن ، 1950) . تعيير ـ في البول ـ للديهيدرو ـ ابي ـ اندروستيرون ، كسر 3 لـ كونّ Conn أو كسر B لـ جايل Jayle (دريشل ، زيلبكن ، 1943 ؛ پاترسون ، 1947 ؛ آلن ، 1950) ؛ تعيير في الدم (غاردنر ، 1953ميجون ، 1955) . اختبارات دينامية للعمل فوق الكليتين . اختبار تنشيط بواسطة الـ A.C.T.H للإبعاد البولي لسبعة عشر هيدروكزيكورتيكويد ولسبعة عشر سيتوستيروييد (ثورن ، 1953) . اختبار اللجم بواسطة الكورتيزول

(ويلكنز ، 1950 ؛ غاردنر ، 1951) . تعيير الايضة (ميتابوليت) : داخل البرغنانيتريول (بونجيوفاني ، 1953) ، تعيير المركب S أو تترا S (بونجيوفاني 1955) . اختبار التثقيل بالبوتاسيوم (هاروب وكوتلر) . دراسة افراز الماء (اختبار روبنسون ، باور وكبتر) .

دراسة الدم ـ ان هذا التحليل بلغ أيضاً دقة مدهشة . فأزمنة وقف النزيف الثلاثة أي الوعائية ، الصفيحية أو البلاسمية ، قد درست بموجب اختبارات دقيقة : زمن الرعف ، زمن التخثر ، تقلص الجلطة ، اشارة الربطة أو اشارة كأس الهواء ، ترقيم مختلف عناصر الدم ، شذوذ عناصر الدم ، وضع تقييم للكريات ، قياس مقاومة الكريات ، معدل البروثرومبين ، اختبار التقبل تجاه الهيبارين ، قياس البروثرومبين المستهلك ، البحث عن مضادات التخثر ، الخ . نذكر أيضاً استخدام السيليكون الذي أدخله جاكس سنة 1946 ، مما أتاح استقصاءات في مجال الصفائح ، مفسراً دور الملامسة في التخثر ؛ كما ان استعمال السيليكون قد مكن من نقل الصفائح .

الاستكشاف الوظيفي للمبيض ـ ان الاقتطاع النسيجي أو الاقتطاع الخلوي الهورموني من البطانة الرحمية هو الوسيلة الاكثر امانة والاكثر وثوقاً لاكتشاف النقص أو الزيادة الهورمونية التناسلية . ودراسة المنشطات المهبلية قد اثيرت بالسابق . وتعيير الفوليكولين [هورمون مبيضي] في البول ، بفضل الطريقة التلوينية المترية التي وضعها كوبر سنة 1938 ، وحسنها جايل سنة 1948 ، والتعبير الوزني للبرغنانديول البولي هي اختبارات مهمة ولكنها دقيقة .

الاستكشاف الوظيفي للخصيتين ـ ان تعيير السبعة عشر سيتوستيرويد البولية هو اختبار أساسي ، ولكن الخصية لا تنتج الا ثلث هذا الافراز الذكوري المنشط . أما الثلثان الآخران فتنتجهما القشرة فوق الكليتين . والاقتطاع النسيجي الخصيوي هو استكشاف ذو أهمية كبرى في حال العقم .

إن التعبير ، لدى الجنسين ، في البول بحثاً عن المحفز المنسلي A (F.S.H) هو ذو أهمية رئيسية من أجل اكتشاف المنشأ النخامي أو التناسلي للاضطراب الهورموني .

الاستكشاف الوظيفي لشبه الدرقية ـ في بادىء الأمر الاستكشاف البيوكيميائي : تكلس الدم (مك كالوم وفوغتلين ، 1909) المقدر حول التغييرات في الكالسيوم المصلي الشامل . ذلك ان قياس الكالسيوم المؤين كان صعباً على التحقيق في ذلك الحين ؛ تشبع الدم بالفوسفات ؛ الزيادة الكلسية البولية والفوسفاتية . إن الاختبارات الديناميكية ترتكز كلها تقريباً على الصفة الفيزيولوجية في الهورمون ، من حيث انه يتحكم بالافراز البولي للفوسفور ، وذلك بحده من اعادة الامتصاص داخل الانابيب البولية الصغيرة ، للفوسفور المصفى بواسطة الكبيبة .

فالسبر الذي أدخل سنة 1934 من قبل السورث ـ هوارد يقوم على دراسة تغييرات الفوسفات في البول ، كردة فعل على الزرق الوريدي لمستحلبات الغدة شبه الدرقية . واحتل هذا السبر مكانة لا تنكر منذ استطاع البرايت Albright ان يعزل « شبه ـ هيبوباراتيرويديسم » حيث الاضطراب الاساسي لم يكن بسبب خلل غددي بل بسبب نقص في التقبل النسيجي .

ودراسة تغييرات الثوابت البيولوجية الفوسفاتية الكلسية الدموية والبولية على أثر الزرق المتكرر لمستحلبات الغدة شبه الدرقية (هـ . أ . هاريسون ، 1956) تعطي أيضاً اشارات مفيدة .

وبعدها جاءت الاستكشافات الكهر تحليلية : قياس المؤشر التوتري بواسطة الغالڤانومتر ، وهو نسخة مكررة من القياس العضلي الكهربائي ، في حالة الكزاز(توربين ، لوفيفر وليريك ، 1943) شذوذ كهربائية دماغية مسجلة في حالة الكزاز .

الاستكشاف الوظيفي البنكرياسي ـ [بانكرياس = الحلوة] أتاح عدد من الاختبارات الاستكشاف الوظيفي للحلوة الصماء بخلال السكر السكري أو هيبوغليسيمي « نقص السكر » . إن تقبل الغلوكوز يقدر بعد ادخال الغلوكوز وبعد البحث عن الصفات في مثلث فرط الغلوكوز الدموي المستثار (م . لابّي ونيبڤو ، 1928) . ودرست تقبلية السكر أيضاً بعد اعطاء الغلوكوز عن طريق الوريد (كراوفورد ، 1938) ؛ والتقبلية الضعيفة هي مؤشر على رداءة عمل الحلوة . أما الزيادة في التقبل فهي دلالة على زيادة الانسلين. واختبار ستوب تروغوت الذي فحص تقبل الغلوكوز على دفعتين بينهما ساعة من الزمن ، هو اختبار جيد من أجل البحث عن الزيادة في الانسلين . واختبار تقبلية الأنسلين قد قنّن من قبل ساندراي ، تايسن ورادوسلاف . والتقبلية المنقوصة دليل على نقص السكر الوظيفي والتقبلية الزائدة تدل على وجود السكري وعلى وجود ورم بنكرياسي منتج للانسولين .

الاختبارات الوظيفية التنفسية ـ هذه الاختبارات نشأت من اعمال قام بها غريهانت وهوتشينسون في مطلع القرن لفحص القدرة الرئوية ؛ كما نشأت من اعمال هالدان وبوهر وباركروفت وي . هاندرسون حول الغاز في الدم ، حوالى سنة 1910 ؛ واخيراً عمل هيل حول استهلاك الاكسيجين .

كان أول جهاز صالح استخدم هو مرسمة التنفس المسجلة التي وضعها بنيدكت وتتيح الاختبارات الحجمية : منها ما هو بسيط (يتناول الهواء العادي ، والطاقة الحيوية ، والحجم التنفسي الاقصى بثانية تيفنو ، التهوئة القصوى بالدقيقة ، استهلاك الاوكسيجين) ، أمّا الاختبارات الاخرى فاكثر تعقيداً (حيث تتناول الهواء المتبقي ، اختبارات الجهد ، الاختبارات الصيدلانية الديناميكية بواسطة الأسيتيلكولين وبواسطة الألندرين ، دراسة قياس التنفس في كل من الرئتين) . واستكمل الاستكشاف الوظيفي حديثاً ، بالدراسة الكيميائية للهيماتوز (أي معدل الاشباع الاوكسيجيني في الهيموغلوبين ، والمخزون الهيدروجيني pH في الدم ، الاحتياطي القلوي ، الدفق القلبي ، نتائج قسطرة تجويفات القلب اليمنى) .

VII ـ علم الفيروسات

إن دراسة الفيروسات بخلال النصف الأول من القرن العشرين قد حققت تقدماً ضخماً ، وهي اليوم تحتلّ مركزاً كبيراً في الطب . فمنذ السباقين العباقرة (جينر والتطعيم (التلقيح) ، باستور والكَلَبْ) بقيت الانجازات في علم الفيروسات تافهة نوعاً ما ، وحتى مطلع القرن العشرين ظل

الكلام يدور حول « كائنات العقل » هذه (باستور) دون معرفتها . ان الطبيعة الفيزيائية والكيميائية في الفيروسات قد درست بوسائل جديدة منها تقنيات الزراعة المكتشفة ، ردات الفعل المناعية المقررة والمقاسة . وهكذا عن طريق علم الفيروسات ، تحسن علم الاوبئة والبيولوجيا والعديد من الامراض الفيروسية ، وكذلك التطعيم ضد بعض هذه الاخيرة ، انشيء وتجدد . وحده الاستطباب الخاص لم يتقدم . من الصعب في مجال عرض الاكتشافات التميز بين البحوث البيولوجية ، التي تتجاوز ، إلى حد بعيد ، مسائل الطب البشري ، وبين البحوث العيادية . ونتفحص اذن تطور الاستقصاءات جامعين فيما بينهما[1] .

يشكل تعريف طبيعة الفيروسات احد عناصر البحث والفكر الاكثر أهمية ، والجهد المبذول من اجل الحصول على هذه العناصر بحالة نقية يعتبر مهماً في هذا الشأن . في سنة 1935 ، عزل و . م . ستانلي بروتيناً متبلراً له صفة الفسيفساء التبغية ، واكتشافه وجود مرض خاص أمكن الحصول عليه بفضل ادخال بروتين قابل للتبلر ، قد ثبت وتأكد من قبل بودن وبيريه Pirié (1937) . وبعد بذل جهد للحصول ، بنفس الطريقة ، على الفيروس في الامراض الحيوانية أو البشرية ، امكنت معرفة ان تسماً من المادة الحاصلة تأتي من المُضِيف بالذات (فيروس الانفلونزا ، نايست) ، ومن وجهة اخرى امكنت معرفة ان فيروسات الانسان قد تشكلت ، لا من بروتينات خاصة ، بل من غلاف معقد مؤلف ، أساساً ، من حامض ريبونوكلييك (ريفرس ، فيروس التلقيح) وأخيراً ان القسمين ، البروتين والغشاوة يستطيعان ، ضمن بعض الشروط ، أن ينفصلا .

وقد ثبت (ستانلي ، 1958) انه رغم ان بروتين فيروس (فسيفساء التبغ) يتمتع بخصائص الخلايا الكيميائية ، فانه هو أيضاً يتمتع بالقدرة على التناسل وعلى التنقل .

ودونما الحاح هنا على هذه التعريفات للفيروس ، والتي تلامس مسألة حدود الحياة بالذات ، يجدر ان نذكر انه من وجهة نظر عملية نعرف ان الفيروسات والريكيّتسيات تتصرّف بآنٍ واحدٍ كغيرها من العوامل الانتانية ، ولكنها أيضاً ذات سلوك خاص حاسم بفضل التكاثر الخلوي الداخلي في الاصابات من نمط التضمينات مثل اجسام نيغري (الكلب) ، واجسام غارنيري (الجدري) ، المعروفة منذ زمن بعيد عرفت طبيعتها الفيروسية . وقد تبين بوضوح أن الفيروسات تحدث خللاً ، أو إنتشاراً خلوياً (الأثر الخلوي التحلّلي : التلف الخلوي أو الخلوي الناشط ، فيليبر ، 1924 ؛ فرط التكون أو النكروز : موت موضعي نسيجي ، ريفرس ، 1928) وانها قادرة على إحداث التهاب وسموم .

إن علم المناعة الفيروسي قد تطور بخلال القرن العشرين كما هو الحال في علم المناعة الباكتيري في القرن التاسع عشر .

إن المقاومة الطبيعية (أنواع غير حساسة) ، والموضعة النسيجية ، الانتحاء العصبي لمرض الكساح والانتحاء الجلدي لمرض الورم الرخوي المعدي ، ودور الوراثة ، والأطعمة ، وظاهرات

---

(1) راجع أيضاً حول هذا الموضوع (الفقرة IV ، الفصل I من القسم الرابع) .

المناعة السلبية ، ودور الحماية بواسطة المضادات وبواسطة المناعة النسيجية ، والنقل من إنسان إلى إنسان بواسطة حيوانات مضيفة ، صنع اللقاح وفاعليته ، كل ذلك يقرب التطور التاريخي في اكتشافات علم الفيروسات من تطور علم البكتيريا الذي رسم له الطريق .

انها كتشافات حقيقية أو تطبيقات جديدة تقنية هي التي أتاحت تقدماً مهماً .

الطرق الفيزيائية الكيميائية ـ اذا كان الترشيح يتيح عزل فيروسات النباتات (فسيفساء التبغ ، د . ايفانوفكسي ، 1892) ، ثم فيروسات الحيوانات (الحمى القلاعية ، لوفلر وفروش ، 1898) ، فان نفس الطريقة اتاحت عزل فيروس الحمى الصفراء (ريد 1901) ، المحتوى الفيروسي للتضمينات (ودروف وغودپاستور) . ان التنقية بواسطة النبذ الدوراني الفائق ، لانماط جديدة ، والوسائل الكيميائية قد طبقت بصورة تدريجية على الفيروسات ، وكذلك التكسير الكيميائي لها . واكمل الفرز الكهربائي (الكتروفوريز) هذه الاستقصاءات ؛ ان احجام الفيروسات قد تقررت خاصة بالفلترة الفائقة (الفورد ، 1931 ؛ فرلنغ ، 1936) . وشارك في هذه الدراسة تحليل الخصائص الفيزيائية والميكروسكوبية الالكترونية والكيميائية الضوئية التي اجتمعت مع التحليلات الدقيقة من أجل وضع سلسلة من الصور تعطي السمات الرئيسية (والمختلفة جداً) للأنواع الفيروسية .

ودخلت التفاعلات المصلية في الاستعمال من أجل معرفة هوية ودور المضادات اللذين سبق تبيانهما منذ زمن بعيد فيما خص اللقاح (ستينبرغ ، بكلير) أو بالنسبة الى الكساح (نتّر وليڤاديتي) .

واصبحت هذه التفاعلات المصلية عنصراً في التشخيص (اوليتسكي وكازالس فيما خص الانفلونزا سنة 1947 ؛ هامون ، 1948 ؛ هانت ، 1942 مع تقنيات دقيقة فيما خص التعبير)؛ وكذلك تثبيت المكمل بعد الحصول على زراعات على الطبيعة ، أو على نسيج موبوء مقتطع عند تشريح الانسان بعد تمنيعه باستعمال المولد المضاد (انتيجن) (هويل ، 1937 ؛ دي باير وكوكس ، 1947) . واستكملت التقنية ـ التي ادخلتها التفاعلات غير الخصوصية مثل الالتصاقات ومثل الترسيبات ، وهي تقنية بدأت مع « ريكيتسيا پروازيكي » ـ بالتصاق الكرويات الحمر بفعل العوامل الفيروسية (تفاعل هرست ، 1941) .

إن تقنيات الزرع على الكائنات الحية وعلى الانسجة قد اتاحت تقدماً ضخماً في مجال علم الفيروسات .

كان غودپاستور (1943) هو صاحب الفكرة الأولى عن التهاب الغشاء الالنتودي في البيضة ذات الجنين الدجاجي (جدري الطير ، لقاح ، هربس « مرض جلدي : قوباء ») والتي طورها فيما بعد ف . م . بورنت ومعاونوه ، ثم آخرون كثيرون (ليڤاديتي ، مياكاوا ، الخ .)،والايلاج داخل المخ عند الفأر المولود حديثاً ، وخاصة تطور استخدام القرد لاكمال هذه الذخيرة من الاستكشاف الفيروسي .

ولكن استعمـال زرع الانسجة ، بشكـل خاص ، من اجـل علم الفيروس هـو الـذي سـوف يحول ويعدل اساليب الدراسات (ر . ج . هارّيسون ، 1910) .

نلاحظ في هذا المجال ان الفيروسـات قادرة على التـطور والنمو ـ بعكس البكتيـريا ـ خـارج الأنسجـة الحية : من . سينهـارد ، اسرايلي ولامبـرت (1913) ، باركـر وناي Nye (1925) قـد سبقوا في هذا المجال هلانر Hallaner وساندرز Sanders وخاصة انـدرس Enders (1950) . واعمال هـذا الاخير تذكر باعمال كارّل الذي بيّن ، وهو يدرس على هذا الشكـل سركـوم (ورم خبيث نسيجي) روس ، الـطريق التي يجب سلوكها سـواء في علم الفيـروسـات أم في علم السـرطـان . واتـاحت تكيفـات تقنية ذات قيمـة عاليـة التقدم في هـذا المجال ، فـأتاحت فهمـاً أفضل للقـدرة المـرضيـة الخلوية ، وتأثير درجة الحـرارة (دور البرد المحـافظ) وتقلبات الشـدة والجدّة ، والتـداخلات بين مختلف الفيروسات التي تصبح ذات أهمية بالغة بالنسبة إلى علم الامراض البشرية ؛ وبفضل كـل هـذه التحقيقـات والـطرق تشكلت اليـوم وتستـكمـل كـل يـوم التقنيـات المخصصـة للتشخيص الفيروسي في امراض الانسان .

الفصل الثاني

التقدم في معرفة الحالات المرضية

إن التقنيات المكتشفة والمنفذة منذ نصف قرن ، وتطورات العلوم الفيزيائية والكيميائية ، المطبقة من قبل أطباء ، وروح الملاحظة المتيقظة دائماً لدى العياديين ، قد أتاحت الوصول إلى تقدم مدهش في معرفة الحالات الباثولوجية (المرضية) التي نستعرض بعضاً من مجالاتها الرئيسة .

I ـ الوراثة

لقد أتاحت دراسة الامراض الوراثية ، بخلال هذه السنوات الاخيرة الوصول إلى مكتسبات مهمة . لا شك أنه ليس ابن اليوم ، التراثُ الجيدُ القاضي بأن فحص أي مريض يجب أن يسبق بدراسة « سوابقه الوراثية » ، ولكن الجدة تكمن في الميل ـ في مصلحة طب للاطفال ـ إلى ربط الوراثة بالعيادة . فضلاً عن ذلك تتحول المسائل البيولوجية ، في الوراثة [1] وتتغير . إن اعمال هذه السنوات الأخيرة قد كشفت وأتاحت الولوج إلى صميم أوالية عدد من الامراض الوراثية ، خاصة ، الامراض الوراثية المتعلقة بالايض .

وإذا كان صحيحاً ان خصوصية المادة الوراثية مرتبطة بترتيب ازواج الاساس فوق السلسلة المتعددة النوى في الخلية الكبيرة ، خلية A D N التي تشكل الصبغ (كروموسوم) ، فالتحول يمكن أن يعتبر « بروزاً » للرسالة المقننة الناتجة عن تعديل تعاقبي . توجد ثغرة حقيقية بين النظريات الحديثة حول بنية وحول وظيفة المعدات الوراثية ، ومفاهيمنا التقليدية حول الجينة المعتبرة كجزيء لا يتجزأ. ولكن إذا كان مفهوم الجينة ، كجزيء لا ينقسم ووحدة وراثية ، يجب أن يهمل ، عند المستوى الخلوي ، فإنه يبقى صالحاً وملائماً على صعيد ملاحظاتنا .

ونلاحظ مع دانت Dent ، وجود عدة أنواع بين الامراض الوراثية التي تصيب الايض أو الانجاع . إن حالات الحصر الايضي تتطابق مع خسارة النشاط الانزيمي التي تقطع سلسلة من التفاعل عند نقطة معينة .

---

(1) راجع بهذا الشأن دراسة آ. تيتري (الفقرة I ، الفصل IV من القسم الرابع) .

ويترجم الحصر بتراكم الناتج الايضي الواقع في السلسلة باتجاه الداخل ابتداء من المقطع ، فينتج عن ذلك تخزين واستبعاد مفرطان ، أو أيّ منهما . هذه الحصورات الايضية سببها ـ بدون شك ـ فقدان انزيم . وقد امكن اثبات ذلك ، إلى حدٍ ما ، مباشرة في عدد من الحالات (تفاقم السكر مثلاً ، غليكوجينوز) . ويقدم الاستطباب البشري ، فضلاً عن ذلك ، في حالات نقص الفوسفات ، مثلاً فريداً ، يكون فيه الشذوذ البيوكيميائي الاول ، المكتشف ، هو انعدام الانزيم .

إن التخلف العقلي ، الموصوف سنة1934 ، في النروج من قبل فولنغ هو النمط المعبر عن هذه الحصور الايضية ذات الطبيعة الوراثية . وهناك خطأ ولادي آخر في الايض هو الغالكتوسيمي التي وصفها روسّ (1908) وغوبرت (1917) في الحصر الميتابولي أو الايضي فيما يتعلق بتحويل الغالكتوز إلى غلوكوز ، وقد أوضح بفضل اعمال كالكار ومعاونيه سنة1957 . إن حالات الغليكوجينوز ، التي وصفها سنابر وڤان كريفلد سنة1938 ، وڤان جيرك سنة1929 ور . دوبري 1949 ، قد حددت بصورة أفضل بفضل تطبيق المعطيات البيوكيميائية وتقنيات الاستكشاف التي وضعها ماير ، شونهمير (1929) ، وخاصة ك . ف . كوري Cori (1954-1957) .

إن بعض الامراض الايضية هي نتيجة اضطراب في النقل الانبوبي . والنتائج المرضية لهذه التحريفات متنوعة ؛ في بعض الاحيان تكون تافهة إلى أقصى حد كما هو الحال في الغلوكوسوري البولي [البيلة السكرية] ، وهي قد تكون قاسية كما في عارض طوني ـ دوبري ـ فانكوني . وإذا كان هذا العارض مرتبطاً في أغلب الأحيان بشذوذات ولادية في النقل الأنبوبي الكليوي فإن المرض السيستيني الملحوظ لأول مرة في حياة المريض من قبل فرودنبرغ سنة 1941 هو شذوذ وراثي في الأيض ذي الطبيعة المشكوك بها باعتبار أن الإصابات الكليوية ثانوية فيها بالنسبة إلى نتيجة التزايد في السيستين .

ويرأي بولنغ (1954) فإن كل الأمراض الوراثية هي أمراض خلوية ، والجينات الناقلة تحث على تشكل خلايا غير طبيعية . ومن المشكوك به أن تكون الحال دائماً هكذا . الواقع أننا نعرف القليل القليل حول طبيعة التغيرات الانزيمية في امراض الايض ، وبصورة أقوى حول التفاعلات البيوكيميائية التشويهية اما في الشكل أو في الكيفية ، حتى نقبل بمثل هذا التعبير . ثم أن استعمال هذه العبارة يجب أن يخصص فقط للاصابات التي يمكن أن نكتشف فيها فعلاً مثل هذه الخلايا كما هو الحال في امراض الهموغلوبين .

وهناك أمراض أخرى وراثية أيضية هي موضوع دراسات جديدة مثل السكري والأكزلات ، والغارغوليسم ، وأمراض السكر التفه (بيغارت ، 1937 ؛ فورسمان ، 1942 ؛ الخ) .

إن كل هذه الاعمال قد كشفت وأتاحت الولوج إلى صميم أوالية عدد من الامراض الوراثية ، كما تقدم أيضاً معلومات مفيدة في الاستطباب . والمعالجة السليمة والمطبقة بسرعة قد تنجي من كوارث تتعلق بالغالاكتوزيمي وبالسماقيات (البورفيري) والهيبوغليسمي ، وتقلل من تعاسة الاشكال الاقل خطورة (والأكثر وقوعاً مما يظن) ، اشكال الموكوفيسيدوز ، وبعض أنواع امراض الانابيب ، والاختلالات الايضية التكوينية .

ونـذكر أيضـاً بأهميـة دراسة الجنس الكـروماتيني والكـروموسـومي فيما خص المسـائل التي تطرحها الشذوذات المتعلقة بـالتفريق الجنسي ، ومختلف أنمـاط التقهقر الخلقي (عـارض تورنـر ، 1938) .

إن الجنس الكروماتيني قد اكتشف من قبل بارّ ومعاونيه سنة1953 . ويوجد في نـوى الخلايـا الانثوية كتلة كبيرة من الكرومـوسومـات (الصبغيات) ذات سمـة خصوصيـة ، تبدو وكـأنها تشكـل قسمـاً من السطح الـداخلي من الغشاء النـووي . ووجود هـذه الكتلة يحـدد الجنس الكـرومـاتيني الانثوي وغيـاب هـذه الكتلة يحـدد الجنس الكـرومـاتيني الـذكـري . إن تقنيـات فحص وعـد الكروموسومات قد تحسّـت حاليـاً . فقد مكنت هذه التقنيات تيجـووليڤان (1956) ان يبينـا أن الإنسان السوي يمتلك 46 كرومـومـوماً في خلاياه الكروماتية . واستعمل ر . توربين دراسة الكرومـوسـومـات البشرية في زراعـة الانسجة فـوصف 47 كرومـوسومـاً في الحالة المنغوليـة . وبيّن ج . لـوجون ور . تـوربين وم . غوتيـه أن التخلف المنغولي مـرتبط بالتثلّث في الكـرومـوسـوم 21 ، وهـو أول مثـل من مـرض وراثي نمطي بفعـل الزيغـان الكرومـوسومي . إن عـوارض تورنـر وكلينيفلتر مـرتبطة أيضـاً بالزيعان الكروموسومي .

II ـ الاشباع والحساسية

عُرِفـت ظاهرة الاشباع (انافيلاكسي) سنة1902 من قبل ش . ريشيه وپ . پورتيه .

« إن مادة غير كافية للقتل أو لامراض حيوان طبيعي تحدث أعراضاً مميتة عند حيـوان كان في السابق ولمدة طويلة قد تلقى نفس هذه المادة » .

وأعتقـد ريشيـه أن المـادة المـولـدة لـلاشبـاع يجب أن تكـون سـامـة ، وان يمتلك الجسم أوالية حمائية ضد هذه السمية وان زرقة أولى تحدث في الجسم بعض التغيرات التي من شأنها رفع هذه الحماية من هنا عبارة انافيلاكسي .

وبيّن ارتـوس سنة1903 ان الاشبـاع يمكن أن يحدث أيضـاً بواسـطة مادة سـامـة مثـل مصـل الحصان ، وإنه في بعض الظروف تكون ردة الفعل الاشباعية غير عـامة بـل محصورة بمـوضع هـو محل زرق المادة ، بشكل قشرة أو ندب . وبيّن روزينو واندرسن سنة1906 في الولايات المتحدة ، واوتو (1905-1906) في المانيا ، إن ظاهـرة الاشباع تختلف تمـاماً عن تشكـل مضادات السمـوم ، وإن الزرق المتكرر لمقادير صغيرة من مولدات المضادات يحـدث حالـة مستعصية ، وإن التحسس يمكن أن ينتقل داخل الرحم من الام إلى الولد ، وإن المواد التي تثير الحساسية قد تكون ذات منشأ حيواني أو نباتي أو بكتيري .

وابتكـر ڤون پيـركيه (1906) بمنـاسبة الـدراسات حـول لقاح السـل ، وحول ابتكـار ردة الفعـل الجلدية اللقاحية ، كلمة حساسية (الليرجي) وهي ذات مدلول واسع . وكـان أول مظهـر الليرجي عـرف بهذا الشكـل هو الصـدمة الاشبـاعية التي عقبت اعـطاء مضادات السمـوم واعطاء الامصـال استطبابياً . وحتى السنوات 1920-1925 امتدت حقبة أولى ظهـرت فيها تشكيليـة كبيرة من المـظاهر ،

قرب بعضها من بعض باعتبارها اشباعية ، وحيث تحدد نوعاً ما المجال العيادي للحساسية .

في سنة1905 فسر ك . ب . پيركيه Pirquet وب . شيك Schick على هذا الشكل الامراض المصلية ؛ سنة1960 بيّن ولف ـ اسنر المنشأ الحساسي لربو التبن ، وجمع نون وفريمان (1910) المعالجات الاولى لازالة الحساسية ضد غبار الطلع مستلهماً المعلومات التجريبية التي حصل عليها بيسريدكا حول معالجة الاشباع .

أمّا أوير Auer وليويس Lewis (1910) فقد لاحظا أن العطب الرئيسي في الاشباع عند حيوان المختبر هو التقبض القصوي ، واقترح ملتزير Meltzer انه قياساً على الربو القصبي يمكن أن يكون هذا العطب مرضاً اشباعياً . وحقق م . نيكول سنة1907 النقل السلبي للاشباع ، الذي سوف يستخدم فيما بعد كوسيلة استقصاء عيادية من قبل برونيتز وكوستنير . وادخل ج . جاداسون في اطار الحساسية ، حالات الرفض ضد الادوية وحولها وضع لاندستينر مفهوم الهابتين . وذكر هوتينل ، دوير ، باربيه ، شلوس الحالات الاولى عن الحساسية ضد الطعام 1908 -1910 .

ثم بخلال السنوات الخمس والعشرين التالية انصبت الجهود لتحديد مثيرات الحساسية وتحسين وسائل اعداد المستخرجات ، وتحسين استخدامها لتشخيص ولمعالجة حالات الحساسية .

وبيّن ستورم فان ليون (1925) أهمية بوغات العفن ، وبيّن كوك (1921) أهمية المهيج للحساسية من غبار المنازل . وأجريت دراسات في كل البلدان لتوضيح التوزيع الجغرافي والفصلي لمهجيات حساسية التنفس (وورنجر ، البوغات والعفائن) ، ودور التروفالرجين .

وأخيراً وفي مرحلة ثالثة انصبت اعمال الفيزيولوجيين على اكتشاف أواليات نسيجية ومزاجية للحساسية .

واكتشفوا دور الوسيطات الكيميائية مثل استيلكولين (دانيالو پولو) والهيستامين (سير هـ . دال) واكتشفوا المفعول المضاد للحساسية في بعض الاجسام (د . بوڤيه ، 1938 وهالپيرن) ، واشتبهوا بأن غياب بعض الخصائص في البلاسما ، عند بعض الأشخاص من ذوي الحساسية يلعب دوراً حاسماً (قدرة حمائية ، بندا ؛ أو هيستامينوپكسيك ، ج . ل . پاروت ، 1951) .

إن مواجهة هذه المسائل مع المسائل التي تطرح قضايا عدم الملاءمة الدموية ، واللقاحات النسيجية ، تشعر بوجود تقدم مهم .

III ـ الفيتامينات

إن كلمة فيتامين ابتكرت سنة1912 من قبل ك . فونك الذي استخرج من نخالة الرز مادة تشفي ، بمعايير خفيفة ، من البولينفريت الطائري التجريبي . والتقدم في معرفة الفيتامينات يعود الفضل فيه إلى أعمال فئتين من الباحثين : أولاً الاطباء الذين يحاولون شفاء الامراض الخطيرة المعروفة منذ القدم (سكوربوت أو فقر الدم والبريبري مثلاً) ، ثانياً المجربون الذين يريدون

معرفة طبيعة وعدد المواد الضرورية للحياة[1] .

والواقع أنه منذ فونك دخلت الكيمياء بشكل باهر في مجال الفيتامينات ؛ وحوالي ثلاثين من هذه المواد تم اكتشافها ، وتوضحت صيغتها ؛ وتركيب العديد منها قد تحقق . والكثير من الفيتامينات لم يعد اليوم مستعملاً لمعالجة حالة نقص (رغم أنّ حالات النقص لم تعد استثنائية في البلدان الفقيرة وتلاحظ أيضاً في حضاراتنا ، عند الأطفال على أثر أخطاء غذائية يسببها الجهل) ، بل في أغلب الأحيان تستعمل الفيتامينات كعامل منشط صيدلانياً . إن الصناعة تنتج بكميات كبيرة التيامين أو فيتامين B_1 ، والريبوفلوڤين ، أو فيتامين B_2 ، وحامض نيكوتينيك أو فيتامين PP ، وحامض اسكوربيك أو فيتامين C .

فيتامين A ـ نعرف منذ زمن بعيد الهيميرالوبي والكزيروفتالمي اللتين وصفهما ماكنزي Mc Kinise سنة1957 . وعلاقات هذه الاضطرابات البصرية مع الفيتامين A قد ثبتت في بداية القرن . في سنة1904 في اليابان ، وصف موري تحت اسم هيكان الاضطرابات المشابهة التي تصيب مجموعات الاولاد المحرومين من الحليب . في سنة1913 اثبت أ . ڤ . مككولم وم . دافيس ، ث . ب . أسبورن ول . ب . مندل وجود عامل دهني سائل ، أو عامل A موجود في الزبدة . هذا العامل A يشفي من نقص الفيتامين التجريبي ، المشابه للجدول الانساني ، وقد أجريت التجربة على الجرذ . وصيغة هذا الفيتامين قد توضحت من 1931 إلى سنة 1933 من قبل كارير الذي أعطاه اسماكسيروفتول .وتم تركيبه سنة 1937 من قبل : كارير ، كوهن ، وموريس . والفيتامين -A- موجود بكمية كبيرة في زيت كبد المورة والفليتان وموجود أيضاً في الزبدة .

ووصف جوزيفس سنة1944 وكافي سنة1950 ، نقصاً في الفيتامين A مزمناً يعبر عنه تكتل في النافوخ وقد وصف هذا النقص لدى الرضيع من قبل ج . ماري ، وج . سبي سنة1955 .

فيتامين D ـ إن نقص النمو الشائع عند الولد معروف منذ زمن بعيد . ومعروف أيضاً أنه يمكن شفاؤه أو استباقه ، وقد اثبته بريتونو في القرن الماضي ، باعطاء الطفل زيت كبد المورة. وطيلة عدة سنوات ، قرن استباقه خطأ بمفعول الفيتامين A . ولكن في سنة 1919 لاحظ آ . ميلانبي أن الكساح يمكن أن يحدث تجريبياً عند جرى الكلاب إذا خضعت لنظام غني بالفيتامين A . وقليلاً قليلاً تبين أن الكساح هو مرض ناتج عن نقص في الكلسيوم والفسفور وفي مادة خاصة اضافية . في سنة1924 بين آ . هس وهـ . ستينبوك أن تشعيع الاطعمة بأشعة فوق البنفسجية يمنع نمو الكساح التجريبي وأن أثر الاشعة فوق البنفسجية الشمسية يتيح للجسم إفراز مادة مضادة للكساح هي الفيتامين D .

وحصل وندوس وبورديلون سنة1931 بتشعيع الارغوستيرول (ستيرول مسحوب من ارغوث الشعير من قبل ش . تسانريت) على جسم متبلر نساشط ضد نقص الفيتامين . وفي سنة 1936

(1) لقد سبق لدراسة أ . إيهد Ihde أن تناولت نشأة الاعمال حول الفيتامينات (الفقرة VII ، الفصل XI من القسم الثاني) .

استخـرج بروكمـان من زيت كـبـد الفليتـان والتونـا الفيتامين D الـطبيعي (فيتـامين D_1) . وعـزل وينـدوس، سنسرت ، بـورديون ، اسكيـو الفيتامين D_2 ، أو الكلسيفيـرول الحاصـل بتشعيـع ـ في الـظلام بواسـطة لمبة زئبقيـة ـ الارغوستيـرول الذي يلعب دور سبق الفيتـامين . في سنة1932 قـدم وندوس صيغة الفيتامين D_3 (ديهيدرو 7-8 كـوليستيرول) ، مـادة طبيعية دهنيـة ذائبة نجـدها بـدون اشعاع مسبق في الزيوت المستخرجة من كبد بعض الاسماك .

أتاحت هذه الاعمال معالجة شفائية واستباقية للكساح المشترك عند الرضاع . في سنـة1946 درس ر . دوبري وأعوانه الحوادث الناتجة عن نقص الفيتامين D .

فيتامين E ـ إن الفيتامين E هو ذهني ذائب وقد عـزل بفضل اعمـال اطباء الـرضع . في سنـة 1919 وصف اوسبورن ومندل إضـطرابات الـوظيفـة الانسـالية عنـد الفئران الخـاضعة لأنـظمة غـذائية مصـطنعـة . ومن 1922 حتى 1925 اعـاد هـ . م . ايڤـانس ويـورّ هـذه التجـارب ، وردا هـذه الاضطرابات إلى عدم وجود مادة خصوصية دهنية ذائبة اطلق عليها اسم فيتامين E .

وقـد عزلت هـذه المادة سنـة1936 من قبل إيڤنس وإيمـرسون . وتقـررت بنيتها على يـد أ . فـرنهولـز في حين أن ب . كاريـر اوضح صيغهـا الكيميائيـة الثلاث وهي : الفـا ، بيتا ، جـامـا ، توكوفيرول (1936) وقد حقق تركيبها (1938) . إن براعـم القمح والـذرة وكذلـك معظم الشحـوم غنيـة بـالفيتـامين E . ونقص الفيتـامين المفـاجىء يسبب العقم في بعض البلدان (نـوغ ، آدم ، 1922) . وهو مسؤول أيضاً عن حالات الاجهاض .

فيتامين K ـ إن مراحل اكتشاف الفيتـامين K هي التاليـة : في سنة1929 لاحظ الفيـزيولـوجي الدانمركي هنريك دام وجود نزيف عند صيصان خضعوا لنظام محروم من الشحوم . ولاحظ تـأخيراً في تجمد الدم تفاداه بإعطاء الصيصان مادة دهنية ذائبة سماها فيتامين K أو (الفيتـامين المجمد) . في سنة1939 عزل كـارير الفيتـامين K_1 من أوراق الفالفـا واستخرج دوازي الفيتـامين K_2 من طحين الاسماك المتعفنة .

ونجد أيضاً بكميات كبيرة في الخضار الخضراء والسبانخ والملفوف والبندورة والصـويا وكبـد الخنزير . في سنة1939 قدم كارير ، المكيست ، دوازي الخ . صيغته ونـواته المشتـركة هي : 12 ـ ميتيل 1-4 نافتاكينون [1] . إن النشاط الفيتاميني K يركب من قبل البكتيـريا الامعـائية ودوره اسـاسي في التجميـد . وهو ضـروري لتركيب البـروترومبين من قبـل الكبد ويؤدي نقص الفيتـامين هذا إلى إضطرابات نزيفية بخلال اليرقان نتيجة الامتناع وهو مسؤول عن مرض النزف عند الوليد الجديد .

وهنـاك مضاد للفيتـامين K يسمى كومـارين أو ديكـومـارين ، وقـد عـزل سنـة1941 من قبـل ستاهمان ، لنك ، . . . . الخ من الفصة . واستهلاكه يؤدي إلى اضطرابات نزيفية عند البقرة .

(1) إن الفيتامين K_1 يستخدم بالزرق في الوريد أو في العضل أو يعطى عن طريق الفم . وقد تم الحصول على فيتامينات تركيبية اكثرها استعمالاً هو الفيتامين K_4 .

مجموعة الفيتامينات B ـ إن النقص في فيتامين B_1 مسؤول عن مرض البريبري الذي يحدث إستسقاء موضعياً مع شلل في الأطراف السفلى . وهو معروف منذ أعمال تاكاكي وإجكمان في أواخر القرن التاسع عشر . في سنة1911 عزل فونك من نخالة الرز مادة متبلرة تشفي ، ولو بمقدار صغير إلتهاب الاعصاب التجريبي (« فيتامين B ذائب في الماء » مككولم ، سنة1915) . ولكن نشاط هذه المادة بدا في الواقع معقداً جداً وأظهرت خصائصها المتنوعة أنها تتكون من عدة مركبات مختلفة النشاط .

إن المادة الناشطة في استباق البريبري عزلت أولاً من قبل جانسن ودوناث 1926 .

ووضعت صيغتها سنة1931 من قبل ر . ر . ويليامس ور . وندوس : إنها اجتماع نواة تيازول ودورة بيريميدية ، من هنا اسمها ثيامين . وتركيبها قد تحقق سنة 1936 من قبل ويليامس ومن قبل وستفال واندرساغ . والكل يعلم التوسع في إستخدام الفيتامين B_1 طبياً وخاصة ضد التهاب الاعصاب . ونقص الفيتامين B_2 نادر إلا في حالات نقص الاعراض . إن أعمال المتخصصين في الغذاء هي التي أتاحت اكتشافه .

في سنة1879 عزل بليث من الحليب ملوناً أصفر سماه « ريبو فلافين » . في سنة1927 اكتشف سيمونيه ومدام راندوان في المجموعة B إلى جانب الفيتامين B_1 المضادّ لالتهاب الأعصاب وهوالعنصر B_2 الذي تم تحقيق صيغته وتركيبه سنة 1934 من قبل كوهن وكارير ، وهذا العامل الذي تبين أنه يشبه الريبو فلافين يشفي من مرض برص الجرذان الإيطالي .

إن الخميرة واللحم والجبن والحليب والزيوت هي أغذية غنية بالفيتامين B_2 الذي لا يستطيع الجسم تركيبه . والملاحظات الأولى حول نقص الفيتامين B_2 هي ملاحظات سيبريل وسيدنستريكر سنة1935 . وهو يحدث تشويهات في الفراغات الشفوية كما يحدث نقص القرينة (الكيراتيت) وأمراضاً جلدية كالتهاب الادمة والتعرف المسرف . والفيتامين B_2 يدخل في تركيبة الخميرة الصفراء ، خميرة واربورغ ، ويلعب بالتالي دوراً مهماً في الاكسدة البيولوجية .

وسبق اكتشاف الفيتامين B_6 ، وصف نقص هذا الفيتامين . وقد عزل هذا الفيتامين سنة1934 على يد سميت وزِنْتْ ـ جيورجي على اثر اعمالهما حول اكروديني الجرذ [داء يصيب رؤوس الأصابع والأنف] .

وتم وضع صيغته الكيميائية سنة1938 من قبل كيرستيزي وكوهن : فالجبن والكبد والحليب ، وخميرة البيرة غنية بفيتامين B_6 . في حين أن نقص الفيتامين التجريبي ، اكرودِيني الجرذ ، كان معروفاً منذ زمن بعيد ، فإنّ نقص الفيتامين البشري قد وصف فقط سنة1953 من قبل سنجدرمان : إذ يؤدي إلى إضطرابات لدى الرضع عندما يغتذي هؤلاء بحليب حرمه تحضيره من فيتامين B_6 . وقد وصفت أزمات حساسية بيريدوكسينية [نقص في فيتامين B_6] حصلت للمواليد الجدد والرضع ، من قبل هونت (1954) وج . ماري (1959) . وفسرت على أنها اضطرابات ايضية في الفيتامين B_6 ؛ وربما تعود إلى نفس السبب بعض الاضطرابات الايضية ، الملحوظة أحياناً عند الكبار المعالجين بكميات مهمة ومستمرة بالايزونيازيد [دواء فعال ضد السرطان] .

ويتسبب النقص في فيتامين PP بداء البرص الإيطالي (داء الذُرة) المتميّز باصابات جلدية (اريتيم) واضطرابات هضمية ، واضطرابات نفسانية . كانت معروفة منذ زمن بعيد ، بعد أن ظهرت في أوروبا عقب استيراد الذرة .

ومن 1915 إلى 1925 بيّن غولدبرجر بأن البرص الايطالي سببه نقص في التغذية ، واعطى لائحة بالأطعمة التي تتيح تفاديه ، وعزل المادة الناشطة وسماها فيتامين PP (pellagra préventive) [تفادي البرص] أو فيتامين B_6 .

وأتاحت اعمال غولدبرجر ، زنت ـ جيورجي (1937) ومدام راندوان وسيمونيه (1938) الحصول على الصيغة الكيميائية وتحقيق تركيب الفيتامين PP ، آميد آسيد نيكوتينيك الذي يدخل في العديد من المستحضرات الانزيمية . إن خميرة البيرة والكبد هي غنية جداً بفيتامين PP . والتقارير حول نقص الفيتامين PP ومرض السماق الولادي أو مرض غونتر هي غير واضحة تماماً . من المعروف فضلاً عن ذلك أن نشاط الفيتامين PP يعزى إلى بعض السولفاميد ، من هنا استخدام هذا الفيتامين اثناء المعالجات بالسولفاميد .

إن فقر الدم الخبيث ، أو مرض بيرمر كان سببه مجهولاً ، وتطوره مميتاً حتى سنة1920 . في هذا التاريخ ، درس ج . هـ . ويپل ، القيمة المقارنة لمختلف المواد الغذائية في إشفاء الفقر التجريبي المستحدث على الكلب بفعل الفصد المتكرر ، واكتشف الاثر الفعال لكبد العجل .

في سنة1926 أثبت ج . ر . مينوت Minot وو . پ . مورفي ، لأول مرة ، على الانسان ، القيمة العالية لكبد العجل كمعالج ضد الفقر في الدم الخبيث ، مما حملهما على الظن أن هذا الفقر هو مرض نقص سببه عدم وجود مادة موجودة في الكبد النيء . وتوصل كوهن فيما بعد إلى الحصول على استحلاب كبدي بشكل مشروب ثم بشكل زرقات ، له فعالية كبيرة . إن حامض الفوليك ، الذي حقق ر . ج . آنجيه تركيبته سنة1946 أعطى نتائج مفيدة ضد هذا المرض ، وساد الاعتقاد برهة أنه تم العثور في هذه المادة على العلاج الضروري ضد هذا المرض الخبيث . في سنة 1947 ، عزلت ماري شورب من مستحلب الكبد ، مادة ضرورية لنمو زراعة « لاكتوباسيلوس لاكتيس » ولها نشاط مضاد للمرض الخبيث . في سنة1948 ، نقّى أ . ل . ريكس ون . ج . برنك ، في نيوجرسي ، هذه المادة ، وبلّراها بشكل ابر حمراء . وفي نفس السنة ، حقق أ . ل . سميث وباركر في انكلترا الاكتشاف من جديد . إن بنية الفيتامين B_{12} أو سيانوبلامين قد توضحت ، في سنة1955 ، وفي مختبرات الكسندر تود (كمبريدج) ومختبرات كارل فولكرس (الولايات المتحدة الاميركية) ، انطلاقاً من دراسات حققت بواسطة أشعة X علي يد د . ك . هودكين ، ومن قبل ك . ن . ترولبلود Truelblood . إن الامر يتعلق بمركب پورفيري معقد جداً يحتوي على ذرة من الكوبالت ($C_{63}H_{90}O_{14}N_{14}PCo$) .

هذا الفيتامين B_{12} ، الضروري لنمو الكريات الحمراء (هماسي) ، يصحح الاضطراب الدموي ، فقر بيرمر ، وبذات الوقت يصحح الاضطرابات الهضمية التي تقترن به لأنه عامل أيضي من الميلّين . فإذا دخل الجسم ، خاصة عن طريق الغذاء اللحومي ، فيجب أن يستكمل عند

مروره بالمعدة ، بمادة داخلية ، بروتين غشائي تفرزه الخلايا الغشائية عند عنق الغدد الهضمية ، مادة مفقودة عند مرضى المعدة (بيرمريان) .

ضمن هذا الشرط يمتص العامل عند مستوى خطوط الاعصاب (تراكتوس) الهضمية ويخزن في الكبد . وتعطي هذه المادة نتائج رائعة ضد فقر دم « بيرمر » شرط أن يجري الاعطاء بمقادير كافية ومتتابعة . في الوقت الحاضر ، يتم صنع الفيتامين B_{12} صناعياً انطلاقاً من زراعة الستربتوميس غريزوس ، منذ الاكتشاف الذي حققه م . شورب Shorb .

إن الحامض المسمى « بارا آمينوبنزويك » (P. A. B)قد اكتشف من قبل ماكنتوش وويتزبي (1939) وعزل في نفس السنة اخذاً من خميرة البيرة (روبو Rubbo وجيلسبي Gillespie) .

وتركيب هذا الحامض (P. A. B) قريب من السولفاميد . وبالفعل أن الأمر يتعلق بمتصافن حامض « بارا ـ آمينو ـ فينيل » سولفاميد ، حدث يفسر أسلوب تأثير السولفاميد . وبالفعل ، إن الجذر سولفاميد يحل محل الـ (P. A. B) فيحرم بالتالي البكتيريا من هذا الانزيم الضروري لنموها . إنّ الدور الأساسي لِـ (.P. A. B) هو أنه يتيح نمو الأجسام الميكروسكوبية .

وهناك مواد أخرى من مجموعة فيتامينات B قد تم التعرف عليها في صفار البيض ، وفي الكبد واغذية متنوعة ذات قيمة غذائية عالية . من ذلك أن البيوتين (B_8) وحامض بانتوجينيك (B_5) ، وحامض بتيروييك قد تمّ عزلها وتشابهت وظائفها .

الفيتامينات C وP ـ يُعرف منذ زمن بعيد أن داء الاسقربوط أو الحفار ، أو فقر الدم ، مرض قديم قدم الحضارة ، هو إصابة نقصية ، وفي القرن الأخير ، ثبتت فعالية البرتقال والليمون الحامض ضد فقر الدم (اسقربوط) . إن الدراسة التجريبية المجراة على حيوان المختبر (كوباي) أكدت هذا الواقع ، ولكن عزل العامل الناشط الموجود داخل هذه الأثمار ، بدا صعباً ، بفعل عدم استقراره أمام القلويات والعوامل المؤكسدة . إلا أنه في سنة 1929 ، حصل باحثون مختلفون على مُركّز ناشط جداً ، هو الفيتامين C . والتقدم المهم المحقق في دراسة السكاكر ، أتاح ، منذ 1933 ، لهرست ، وهوارث ، وكارير ورايخشتاين Reichstein ، وضع الصيغة وتحقيق تركيب هذا المركب الذي طلق عليه زنت ـ جيورجي وهوارث اسم آسيد آسكوربيك . في سنة 1936 ، اكتشف زنت ـ جيورجي في مستخرج ليمون الحامض إلى جانب الفيتامين C ، عاملاً له مفعول ضد النزف سماه فيتامين P . وهو عامل تسرب وعائي أو فيتامين ضد النزف ، ماهاه لاقولي مع الـ أبيكاتشين (1940) . ويتسعمل هذا الفيتامين ، الموجود بشكل خاص في الحمضيات ، ضد فقر الدم الخبيث وأيضاً ضد بعض الاعراض النزفية . نذكر أن الاسقربوط (فقر الدم الخبيث) يلاحظ في (فرنسا) عند الرضع الذين يقتصرون فقط على الحليب المعقم والحليب الطحيني (الناشف) والذين تظهر عليهم اعراض النزيف وضعف العظام .

IV ـ علم الغدد الصماء

لن نعود إلى نشأة علم الغدد ، ولا إلى الاتجاهات العامة حول تطوره [1] . يمثل تاريخ علم الغدد أحد الامثلة الاكثر اثارة للاعجاب بالتقدم الحاصل بين العيادة والكيمياء البيولوجية ؛ وهذا التاريخ لم يكتمل بعد . ولكنه يغتني كل يوم باكتشافات جديدة . وعرضنا يتناول أساساً آثاره الطبية ، وينظر على التوالي إلى الهورمونات التي تفرزها الغدد الصماء المختلفة .

إن بعض الغدد ليست محكومة بغدة أخرى (مثل البنكرياس أو الحلوة، شبه الدرقية ، فوق الكلية) ؛ بالمقابل أن الهيپوفيز (النخامية) الامامية تحفز الدرقية والمناسل وفوق الكليتين . وبواسطة الهيپوفيز (النخامية) الخلفية ، يفتح المجال الواسع ، مجال الهورمونات ذات المنشأ العصبي ، والتي يتحكم بعضها ، ربما بما قبل النخامية (انتيهپوفيز) .

الانسولين ، هورمون البنكرياس (الحلوة) ـ استطاع ڤون ميرنغ ومينكوسكي (1889) أن يجعلا كلاباً مرضى بمرض السكري وذلك باستئصال البنكرياس . وبنفس الحقبة تقريباً ، عزيت وظيفة صمائية لجُزيرات لانجرهانس ، المنتشرة في الغدة ، واطلق اسم انسولين سنة1909 ، من قبل ج . دي ماير على الهورمون المفترض . وبدت مستحلبات عدة ذات نشاط مشكوك به . وحضر ف . ج . بانتنغ ، وش . بست (1921) ، وج . ج . ماكليود ، بواسطة أسلوب شبيه جداً بأسلوب ـ لم يعلن عنه ـ أ . غلاي (1905) مستحلباً من بنكرياس الكلب ، يخفض مرض السكر في الكلب المستأصلة بنكرياسه . ومنذ 1922 ، عالجوا مرض السكري من البشر بواسطة انسولين بقري ، وهذا الاكتشاف غيَّر تطور ومعالجة السكري .

وتحسنت فيما بعد طرق تحضير الانسولين فعمد ج . ج . آبل (1926) ، هاجيدورن (1936) وآخرون ، إلى تحضير انسولينات متنوعة وثمينة بسبب نشاطها المستمر (انسولين بروتامين ـ زنك) . ونجح ف . سانجر (1953) في وضع صيغة هذه الخلية الكبيرة البروتينية .

يتيح الانسولين استعمال الغلوكوز الدائر بتركيز ضعيف ، وتخزين الغليكوجين في الكبد وفي العضل . إن خزع فوق الكليوية والنخامية (مدرستا ب . هوساي وك . لونغ ، 1935-1940) قد بالغ في مفعول الانسولين في انقاص السكر (هيپوغليسميان) إلى حد الخطورة ، فالمستحلبات فوق الكليوية (لونغ) أو النخامية (هيپوفيز) (يونغ 1937) تناقض هذا المفعول ، مما يوحي بأن البنكرياس لا تعبر عن كل السكري المعروف ، المرض الوراثي . إن المعالجة بالانسولين التي تتيح لملايين الناس العيش والانسال ، تساعد على انتشار الجينة إلى أقصى حد .

إن اعمال سوسكين (1930 -1952) ، وليڤين (1950) ، مانّ وماغات (1903 -1927) ، ويونغ ، فورسل وليكتنشتاين (1935-1950) ، غيست (1947 -1957) حول توليد السكر الجديد وحول الايض الانزيمي بين الخلايا ، حملت على اعتبار السكري كنقص صمائي يعالج فقط

(1) راجع بهذا الموضوع الفقرة IV ، الفصل II من القسم الرابع التي تحلل أيضاً الجوانب البيوكيميائية والفيزيولوجية للنشاط الغددي الصمائي .

بالاستطباب الهورموني الاستبدالي المكيف بمرونة بالغة .

منذ 1922 (ماك ليود) كان معروفاً أن بعض أنواع الانسولين المعطى عبر الوريد ، كان يرفع مرحلياً السكر ، واليوم يعتبر الغلوكاغون مسؤولاً عن هذا ، وهو هورمون تفرزه الخلايا الفا في جزيرات لانجرهانس (الانسولين تفرزه الخلايا بتا) ، وهو يجند الغليكوجين الكبدي (بورجر وغراندت ، 1935 ؛ وسوذرلاند وكوري Cori ؛ فربر ودوف 1953) .

الهورمون الباراتيرويدي أو هورمون شبه الدرقية ـ هذا الهورمون المسمى باراتورمون ، تفرزه غدد صغيرة جداً متاخمة للدرقية وصفها ساندستروم (1880) . واستئصال الغدد الصغيرة يتسبب بكزاز قتال (غلاي ، 1893-1910) عزاه و . ج . ماك ـ كالوم وك . فوغتلين (1909) إلى نقص في الكالسيوم الدموي ، واستخرج الباراتورمون من قبل ج . ب . كوليب (1925) . وهو ذو تكوين غير موضح بعد ، ويتحكم ـ ربما ـ مباشرة بالايض الفوسفوري ـ الكلسي في العظم . وهو يؤثر بالتأكيد في الكلية حيث ينشط طرد الفوسفات (آلبرايت) ، الذي يؤدي خفضه في الدم إلى ارتفاع الكلسيوم فيه .

إن فقدان الكالسيوم في مرض العظام الليفي ، عند ريكلينغهوسن Recklinghausen (1891) يعزوه م . اسكانسي (1904) وشلا جنهوفر Schlagenhaufer (1915) إلى ورم في شبه الدرقية التي تفرز الكثير من الهورمون ، وهذا أمر أثبته بالتشريح ماندل Mandl (1925) . إن النقص الهورموني يسبب كزازاً ، وهو واحد من مسَبّباته العديدة . إن الهورمون الباراتيرويد (شبه الدرقي) لا يستعمل إلا لاستكشاف قيمة الغدة أو قيمة الايض الفوسفوري الكلسي . ولمعالجته ، يُفَضَّلُ له أما الفيتامين D_2 ، أو مشتقه وهو ديهيدروتا ـ شيستيرول (آ . ت . 10 A. T. 10 : 10) .

الأدرينالين ، هورمون وسط فوق الكلية (لب الكظر) ـ رغم أن الموت بسبب خزع فوق الكلية (براون ـ سيكارد Browen- Séquard ، 1856) يعزى إلى الحرمان من المنطقة الخارجية ، القشرية ، فإن لب الكظر بقي لمدة طويلة مدروساً ومعروفاً بصورة إفضل من القشرة (كورتكس) .

لاحظ أوليفر وشاربي ـ شافر (1895) أثر المستحلب الرافع للضغط ، الذي تبلر مبدأه الناشط سنة 1901 على يد ت . ب . الدريش وج . تاكامين ؛ وسماه هذان الاخيران ادرينالين . وعُرف تركيبه ، أول تركيب لهورمون (ف . ستولز ، 1904) قبل معرفة صيغته الصحيحة (فريدمان ، 1906) .

بعيار معتدل ، يقلص الادرينالين غالبية الشرايين والشعريات ، ولهذا يحصل ارتفاع الضغط ولكنه يمدد شرايين وشعريات العضلات المخططة . وهو حين يستنفر غليكوجين الكبد والعضل فإنّه يرفع نسبة تحلون الدم مما يسمح باستهلاكٍ نسيجي متزايد للغلوكوز ؛ ويزيد عدد الكريات الحمر المتجولة ، ويرفع معدّل التخثر ، ويمدد القصيبات ؛ كما يحافظ ـ في مستوى بعض البنيات الدماغية ـ على نوع من التنبّه الركيزي (ديل ، 1954-1958) . وعلى العموم ، يزيد الهورمون في الوسائل التي تمكن من مواجهة الاعتداء ؛ وعندها يكون قد أُفرز (و . ب . كانّون

1911-1933) وذلك بإعمال الجهاز العصبي ، الذي يكون تضبيطه كثير التعقيد .

وإلى كانون Cannon أيضاً ، في حال عدم وجود فوق الكليتين ، يعود فضل تبيين أن اثارة الجهاز الودي تطلق أيضاً مادة قريبة من الادرينالين ، هي الودّين (سمباتين) E أو نورادرينالين (1931) . إن هذه المادة تفرز عند الاطراف المسماة « المنشطة الادرينالية للجهاز الودي » وهذه الأطراف لها نفس المنشأ الجنيني الذي لُبّ الكظر . إن التطورات الحديثة في فيزيولوجيا لب الكظر تساعد على دمج هذه الغدة تماماً ضمن الجهاز الودي المستقيم (مالميجاك Malmejac ، 1959) ، دون التخلي عن مفهوم افراز ركيزي من الادرينالين (تورناد وشابرول ، 1923) . إن بعض الأورام في الغدة تتسبب بارتفاع ضغط يبلغ حد النوبة (ف . فرانكل ، 1886) أو دائم ، يتحسن بعد استئصال الغدة (مايوت ، 1927) .

هورمون القسم الأمامي من النخامية ـ شاهدت نهاية القرن التاسع عشر تقريباً القزمية والقصاعة [توقف النمو الطفولي] من تلف النخامية (لوفاني ، 1871 ؛ أفدهيم ، 1916) ، وضخامة الاطراف (اكرو ميغالي) من بعض الاورام (ب . ماري ، 1886) ، والنحول العام العميق من تلف عميق في الغدة (سيموندس ، 1914) .

إن الاستئصالات الاولى ، عند الثدييات (بوليسكو 1908 ؛ كوشنغ ، كاموس وروسي ، 1920) لا تتيح اجراء ميزانية دقيقة للنقص . في سنة1921 أثبت ايفانس أن القسم الأمامي من الغدة يصنع هورمون النمو . وبعد ذلك بقليل بيّن سميث أن استئصالها يوقف النمو ، ولكنه أيضاً يضَمِّر المناسل والقشرة فوق الكلية . إن مقتطعات من القسم الأمامي تتسبب في العملقة .

وفي سنة1924 قرر كوريبه Courier ، بالنسبة إلى التيرويد (الدرقية) ، وجودَ توازن بين ما تفرزه كل غدة وافراز الستيمولين النخامي الموازي .

وعزيت عشرات الهورمونات المختلفة إلى النخامية الداخلية (انتي ـ هيپوفيز) . ستة منها فقط لا جدال حولها ، وكلها ذات طبيعة بروتينية .

إن « هورمون النمو » المنقّى من قبل لي وإيفانس (1944) ليس فقط عامل نمو . من الاعمال الحديثة تبين أن له مفعولاً كلّي الحضور كمسهل ، وإنه يساعد ، فيما يساعد ، عمل الهورمونات الاخرى .

فهو ، بمعارضته استخدام الغلوكوز ، وبتسهيله استخدام الشحوم ، يتيح للجسم أن يحافظ ، أثناء الصيام ، على معدل سكري (غليسيميك) ضروري للدماغ . فإذا كثر أوقع في السكري (يونغ Young ، 1937) .

والهورمونات المستخرجة من المواشي ليس لها فعالية في الانسان ، ولكن هورمونات الانسان أو القرود ذات فعالية ، هذا الفرق يفسر باختلاف بنية هذه الخلايا الكبرى (لي ، 1956-1959) ، وهضم الهورمون الحيواني (المواشي) جزئياً كان يمكن أن يقدم إلى لي (1958) هورموناً صالحاً للانسان .

إن الهورمونات الاخرى ، بخلاف هورمـون النمو ، ذي المفعـول الانتشاري ، الصـادرة عن النخامية الداخلية ، تحفز انتقائياً الغدد الأخرى .

والهورمون الـذي ينتحي ناحيـة الدرقيـة ، المحضر من قبـل لويب وبـاسُت (1929) والذي يحفز النمو ووظائف الدرقية (تثبيت اليود ، تركيب هورمونات درقيـة) ، قلّما يستخـدم إلا من أجل التثبيت من القيمة الوظيفية للدرقية : تثبيت اليود المشع .

إن الهـورمـون الذي ينتحي ناحية القشرة (كورتيكوتروب) (A. C. T. H) ، والذي حضّره كـولّيب (1933) ، ونقّـاه لي (1942) ، وسـايـرس Sayers (1943) ، يقـاوم ضمـور الكـورتكس (القشرة فوق الكلية) بعد استئصال النخامية . فهو يخفض معدل الحمض اسكوربيك والكولستيرول (مدرسة لونغ ، 1943) ، ويحفز فيها تركيب هورمونات من نمط الكـورتيزون ، ممـا يفسر اليـوم ، استعماله بآنٍ واحدٍ مع هذه المادة (الكورتيزون) . وهو يستعمل أيضاً لاستكشاف القيمة الـوظيفية في القشرة فوق الكلية . إن البنية البوليبيتيدية (تعدديـة الخمائـر) لهذا الهـورمون قـد وضحت في عدة مختبرات اميركية ؛ في سنة1960 ، اعلن ك . هوفمان (بيتسبورغ) ، تركيب مادة ذات نشـاط بيولوجي مثيل .

في سنة1926 . سرَّع ب . أ . سميث وب . زونـدك البلوغ الجنسي في إناث الجـرذ وذلك بـزرع اجزاء من النخـاميـة . إن النشـاط المتنـوع للمستحلبـات تفـرض فكـرة مبـدأين مختلفين ، الهورمونات ذات الانتحاء المنسلي : هـورمون ـ فـوليكولـو ـ ستيمولانت (الهـورمون ـ الجـرابي ـ الحـافز) (F. S. H) الـذي يحفز نمـو الجريب المبيضي ثم الهـورمون الملون [هـورمـون يهيء الـرحم لقبول البيضـة الملقحة] (L. H) الـذي يعمل على تفـريز هـورمون أوستـروجيني ، ثم ، بكميات كافية ، يطرد البيضة خارج الجريب حيث يتكون عندئذ الجسم الاصفـر (لوتنـة) . إلا أن الجسم الاصفر وعلى الاقل عند الجرذة ، لا يكـوِّن نتاجـه الخاص ، البـروجستيرون ، إلا بفضـل مادة ثالثة نخامية هي « لوتيـو ـ تروب » . هـذا الهورمـون ، الذي سـوف يماهى ، بعـد 1940 ، مع البرولاكتين ، المكتشف سنة1929 من قبل ستريكـر Stricker وغروتـر Grueter يلعب دوراً حاسمـاً في افراز الحليب .

إن التعقيد الأقصى في العلاقات بين النخامية والمناسل يفسر عدم وضوح المعارف الحالية ؛ إلا أن القصـور في F. S. H و L.H لا يتيح البلوغ ، وبـدرجة أدنى ، لا يتيـح الاباضـة . ان بـول الخصيان يحتوي كميات كبيرة من الهورمونات المنسلية المنحى ، قـد تكون F.S.H زائـد L.H . إنّ الهورمونات منسلية المنحى تفرزها أيضاً المشيمة ، وتـوجد بكميـات كبيرة في البـول وفي الدم اثنـاء الحمل (اشهايم وزوندك » .

إن اكتشاف الهورمونات الـمخـدية (بـرولان) ذات المنشأ المشيمي قـد أوصلت إلى تحقيق اختبارات باهرة في البيولوجيا الهـورمونيـة : أي التشخيص البيولـوجي للحمل (أشهـايم Aschheim وزوندك Zondek ، 1928) .

الهورمونات النخامية ـ في سنة1895 ، استخرج أ . بومـان من الدرقيـة بروتينـاً يوديـاً . سنة 1915 عزل أ . ك . كيندال مادة متبلرة ناشطة جداً ، أوضـح ش . ر . هارينغتـون صيغتها (1926)

وقام ج . بارجر بتركيبها (1927) . لقد ظل التيروكسين أو تترا ـ يودو ـ تيرونين لمدة طويلة معتبراً من أجل المادة الدرقية الناشطة وحدها فيه . في سنة1952 ، عمل روش ، غروس وبيت ـ ريفرس ، كل على حدة ، فعرفوا في الدرقية تريودو ـ تيرونين ، أكثر نشاطاً من التيروكسين . وبصورة أقرب تم التعرف على مواد أخرى أكثر نشاطاً إلى حدٍ ما .

وهناك مكتسبات أخرى أكثر حسماً طبعت السنوات الاخيرة بطابعها . وكان الامر أولاً يتعلق باستعمال مواد طبيعية (ملفوف : شسني Chesney ، 1928) أو اصطناعية (سيانور : مارين ، 1932 ؛ مشتقات الثيوري : ريختر ، 1941) تتعارض مع مراحل متنوعة في التركيب الهورموني . واستعمل بعضها في معالجة زيادة إفراز الغدة الدرقية .

ويتوجب في المقام الثاني استعمال اليود المشع (I^{131} ثمّ I^{132}) الذي يثبت بصورة فضلى فوق الغدة الدرقية (هرتز ومجموعته ، 1938-1941 ؛ ليبلوند Leblond وسو Süe ، 1940-1941) قبل الدخول في سلسلة التركيب الهورموني . وتثبيت اليود المشع أصبح وسيلة رئيسية في استكشاف القيمة الوظيفية للغدة الدرقية عند الإنسان ؛ وبمعايير قوية قد يدمر الغدة (هاملتون ، هرتز ، 1942) .

إن قيام جوليوت Joliot ، كوريه Courier ، هورو Horeau ، وسو (1944) بتحضير التيروكسين المشع ، وهو أول هورمون موسوم ، والدفعة التي أعطاها شايكوف (1947) لدراسة التركيب البيولوجي للهورمونات الدرقية أدّيا بكثير من المدارس (خاصة مدرسة روش) إلى توضيح المراحل وإلى تعيين مواضع التعطيل الولادي في بعض الحوصلات البشرية .

ويعد تيسير عمليات الأكسدة الخلوية ، ترفع الهورمونات الدرقية الأيض الركيزي (مغنوس ـ ليفي Magnus- Levy ، 1895) . وفي حال الزيادة إنها تسبب مرض بازيدو الذي يكمن أصله ، في أغلب الأحيان ، في إثارة للغدة النخامية في الدماغ . أما الورم الغدي المخاطي فهو تعبير رئيسي عن ضعف الغدة الدرقية .

وهذا النقص قد يعزى إلى تدمير الغدة الدرقية أو إلى نقص في الحفز النخامي (مينس ، 1940) . وهو لا يقترن ببروز السِّلعَة (الحوصلة) إلا إذا كان ثمّة تعطيل لأوالية التركيب البيولوجي أو كان هناك نقص في اليود . وبين 1850 و1860 عزا شاتين Chatin السلعة إلى فقر التربة باليود ونصح باستعمال اليود لتفادي السلعة المستعصية .

هورمونات الخصيتين ـ في الأنابيب المنوية حيث تتولّد المنويات ، اكتشف ليديغ سنة1850 نسيجاً حشوياً . ونجحت مدرسة بوين (1903-1933) في إثبات أن هذا النسيج يفرز هورمون الذكورة حيث أثبتت أعمال برتهولد (1849) على الديك ، وأعمال ستيناك (1894) على القواضم وأعمال بيزارد (1911-1923) على الفرخ المخصي على وجود هذا الهورمون الذكوري وكذلك الملاحظات حول الخصيان (تندلر Tandler وغروز Grosz ، 1907-1910) .

وبعد أول مستحلب ناشط من عرف الفرخ (بيزارد ، 1911) جاء مستحلب مك جي (1927) ثم مستحلب مور، غالاغر، وكوش (1929) . وفي سنة 1935 سحبت مدرسة لاكور من الخصية مادة ،

ستيرودية متبلرة إسمها تستوستيرون ، سرعـان ما ركبهـا روزيكاو وتستين Wettstein في سـويسرا ، وبوتيناند Butenandt في المانيـا ، جيرارد ثم روسـل في فرنسـا . في سنة1931 و 1934 استخـرج بـوتينانـد من البول مـولدين ذكـريين اخرين همـا أندروستيرون (تركيب روزيكـا ، 1934) ثم دي ـ هيدرو ـ اندرو ـ ستيرون . واعتبر التيستوستيرون الهورمون الاكثر بروزاً في الخصية ، مرة ، ولكنـه تقهقر في الجسم أمام عدة مواد منها 17 ـ سيتوستيرويد التي عرفت بسهولة في البول بفضل تفاعـل زيمرمان (1935). إن هورمونات القشرة فوق الكلية تعطي أيضاً سيتوستيرويـد .

ويحفز هورمون نخامي شبيه بهورمون لوتينيزي (L. H) افراز الاندروجين (مسبب الذكورة) الذي يحد بدوره من إفراز L. H . إن الانابيب المنوية يحفزها FSH وربما يحفـزها مسبب الـذكورة (اندروجين) . وإلى جانب المفاعيل الاكثر شهرة من الاندروجينات على السمات الجنسية الثانوية الـذكريـة ، يضاف الحبس الأزوتي الـذي يقربهـا من هورمـون النمو.فضلاً عن ذلـك يلعب إفـراز الخصية دوراً مبكراً جداً ، لإنه يقولب في جنين الثدييات المجاري التناسلية باتجاه الذكورة إنطلاقـاً من النمط الانثوي الحيادي (جوست Jost ، 1947) . وقبيل الولادة ، عند القواضم ، يحد بصورة نهائيـة إفـراز L. H بـواسـطة النخـاميـة فيعـطيـه سمـة الـذكـورة(فيفـر ، 1936) . والخصيني (تيستوستيرون) أو المواد الاصطناعية القريبة تذلل عواقب الاخصاء أو سن اليأس عند الرجل وعند المرأة .

هورمونـات المبيض ـ لـم يؤدِّ الخصي (الخفض) للحيوانـات الانثى ، ولا المعرفـة الجيدة بالمبيض، والتي يعود تاريخها إلى غراف الذي وصف الجراب المبيض (1675) حيث وجد فون باير (1827) البيضة ، كل هذه الاعمال لم تؤدِّ إلى وجـود إفراز داخلي في الغـدة . ولن يثبت بيان هـذا الافراز إلا سنة1895 على يد كنوويـر Knauer الذي استـطاع أن يعيد الـدورة الشهريـة التي عطلهـا الخصي عن عملهـا . ومنذ سنـة1906 إستحضـر مـارشـال وجـولي على مستحلب يحـدث الحيـل « rut » عنـد الكلبة . ولكن التقـدم المفيـد لم يتحقق إلا على أثـر دراسـات جـرت على العـادة الشهرية عند القواضم (ستوكارد وبابانيكـولاو Papanicolaeu ، 1917 ، لونـغ وإيفانس ، 1920) ، وأثبت أ . الن ودوازي Doisy سنة 1923 أنّ تليف المهبل دليل على نشاط مبيضي (استـروجيني) . وفي سنة 1924 بيّن دوازي ، ألن وكوريه أن السائل الجرابي هو مولد انثوي (استروجيني) .

ثم جـرى اكتشاف مصـادر أخرى لـلاستروجيني : بـول المرأة الحـامل (أشهـايم وزونـدك ، 1927) ، البـول (هانيسلر ، 1934) والخصيـة (زونـدك ، 1935) عنـد المهـر . من بـول المـرأة الحامل استخرج دوازي (1929) وبوتينـاند (1929) أول استـروجيني متبلر وهو الاستـرون الذي وضـع صيغتـه الستيروديـة بوتينـاند سنـة1932 . وانطلاقـاً من الاسترون استحضـر شوينـك وهيلد بـرانـت (1933) الاوستراديول الذي عثر عليه دوازي في مبيض الخنزيـرة . والاستراديـول نشيط جداً وهـو يعتبر الهرمون الطبيعي الحقيقي . وتم التعرف على مواد أخرى طبيعية : اوستـريول مستخـرج من البول عند الحمل (ماريان ، 1930) أو من المشيمة البشرية (كوليب، 1930) ، اكيلينين مستخرج من بول الفرس الحامل (جيراد 1923 -1936) . وفي سنة1938 سجـل دودز Dodds ستيلبو سترول

في رأس اللائحة الطويلة اليوم من الاوستريجينات الاصطناعية التي تتضمّن الحوامض دواسيلونيك (ميشر ، 1954) والحوامض اللينوليك (هورو وجاكس ، 1947) .

في الجريب الذي قذف البيضة بتكون جسم اصفر وبنيته هي بنية الغدة الصماء (برينانت 1898) وهو ضروري للحمل (فرانكل1901) وهو يعمل على تشكيل الدنتيللا المهبلية الضرورية لتمركز البيضة (بوين وانسل ، 1909). وارتكزت تجربة كورنر وو . م . الن (بروجستين ، 1929) على الدنتيللا فأتاحت تقدماً حاسماً في تنقية المستحلبات التي تنذر بالاسقاط بعد استئصال الاجسام الصفراء . في سنة 1934 تم عزل البروجستيرون المتبلّر (بوتينانـد ، ونترستاينر Wintersteiner) الذي وضعت صيغته الستيرودية ، وتحقق تركيبه جزئياً في نفس السنة (بوتيناند) .

سنة1937 -1938 بيّن فيننغ وبروني أن تعيير الپريغنانديول البولي ينبيء عن افراز پروجستيرون الذي هو من مستحضراته التقهقرية . ويحتوي المبيض أيضاً على نسيج حشوي ، ذي دور ما يزال غير واضح ، ولكنه ، على الاقل في بعض الظروف ، يولد اندروجينات [حافزات الذكورة] (غوييتوه Guyénot ، 1932 ؛ هيل Hill 1937) .

وينمي الاوستروجين ، مجرى البويضة ، والمهبل ، والمشفر ، والغدة الحليبية ، فيحضرها لعمل الپروجستيرون ، الذي ينشيء فيما ينشيء المهاد المهبلي . إن بعض الانتفاخات المبيضية تفرز كميات كبيرة من الاستروجين والاندروجين تستطيع أن تحقق نضجاً (بلوغاً) كاذباً مبكراً ، أو ،فيما بعد الذكورية . إن المعرفة التي ما تزال غير واضحة بالعلاقات المعقدة جداً في الهورمونات المبيضية ، فيما بينها ، وفيما بين الهورمونات ذات الانتحاء المنسلي ، تفسر اللايقين النسبي في معالجة بعض الاضطرابات الامراضية النسائية ، ذات المنشأ ـ ربما ـ الهورموني . في الحالة القصوى حالة عدم وجود مبيض ، وحده الاستروجين يلغي هبات الحرارة ، وينمي الثديين ، وإذا كانت المعالجة متقطعة ، فإنها تتيح الحيض ولكن إضافة البروجستيرون تتيح دورات اصطناعية أفضل .

وتكتسب المشيمة عند المرأة وظائف مهمة صمائية لان المشيمة تعد لها فقط هورموناً مشيمياً (أشهايم وزونـدك ، 1927) يحفز افراز البروجستيرون بواسطة الجسم الاصفر ، بل وأيضاً ، وبرأي كوربيه (1945) ، استروجيناً وپروجستيروناً ، مما يفسر تتابع الحمل بعد الخصي .

هورمونات القشرة فوق الكلية ـ في نظر برون ـ سيكارد (1856) تعتبر الغدة فوق الكلية ضرورية للحياة . وقد قرر آ . بيلد (1910) بقوة أن الامر كذلك بالنسبة إلى الكورتكس (القشرة) .

وتمّ تحضير مستحلبات (روغوف وستيوارت ، 1927 ؛ سوينغل وفيفنر ، 1929 ؛ هارتمان وفريقه) أتاحت ستمرار حياة الحيوان المحروم من غدد فوق الكلية . وتم سحب مواد متبلرة ناشطة جداً (غرولمان وفيرور ، 1933 ؛ كيندال ، 1935 ؛ ونترستينر وفيفنر ، 1935) ذات طبيعة ستيرودية كما الهورمونات المنسلية .

الواقع أن القشرة فوق الكلية تنتج مواد مختلفة جداً منها :

أ ـ الدوستيرون ، الذي يقاوم هرب الصوديوم الكليوي ، وهو محفوز لا بـ A.C.T.H ، بل ربما بنوروهورمون ديانسفالي [دماغي] (روشكولب وفارْل ، 1956) .

ب ـ فإذا حفز بـ A. C. T. H فهو يفرز غلوكو ـ كورتيكوييد من نمط الكورتيزون التي تساعد على تحويل البروتينات إلى غلوكوز . وكل اعتداء يطلق جواباً بين غدة فوق الكلية (سيلي) فينتج بفضل أواليات التركيب البيولوجي ، التي توضحت حديثاً من قبل مدرسة پنوس ، يطلق كثيراً من هذه المواد . وهذه تنظم الزخم ، المدمر أحياناً ، « لردّات فعل دفاعية » من الجسم . واستخراج المستحلبات الأولى المتبلرة من القشرة فوق الكلية أطلق بحوثاً خصبة .

منذ سنة 1935-1936 تم عزل دي ـ هيدرو ـ كورتيكو ـ ستيرون (مازون ، ادوارد ، كندال) وكذلك الـ كورتيكوسترون (مازون ، كندال ، رايخشتاين) والكورتيزون ، مركب E من كندال (ونترستينر وفيفنز ، كندال) . في سنة1937 تم عزل الـ آدرينو ـ ستيرون (رايخشتاين) ، والهيدروكورتيزون ، مركب F من كندال ، في حين تم الحصول على التركيب الجزئي لـ دزوكسي ـ كورتيكو ـ ستيرون (ستيجر ورايخشتاين) الذي سوف يستحلب في السنة اللاحقة من الغدة فوق الكلية (رايخشتاين وڤون ايوي Von Euw) . من هذه الغدة ، نستحلب هكذا عدة عشرات من الستيروييد ، الناشطة أو غير الناشطة القريبة من الكورتيزون ، ومن الاندروجين [مولدات الذكورة] ، ومن الپروجستيرون وحتى من الاستروجين وبآن واحد تتكامل التركيبات : كورتيكو ـ ستيرون (رايخشتاين ، 1945) ؛ كورتيزون أو 11 هيدروكسي 17 ديهيدروكوستيرون (سارّيت ، 1946 ؛ كندال ، 1947 ؛ انطلاقاً من حامض ديزوكسي كوليك ؛ ر . ب . وود ورد ، 1953) . ولكن يبقى كسر لا شكل له ، الاكثر نشاطاً للمحافظة على الحياة . إن الجهود المتحدة من قبل عدة مجموعات من الباحثين (سمبسون ، وتستين ، نيهر ، فون ايوي ، شندلر ، ورايخشتاين) أتاحت ، في سنة1952 استخلاص الالدوستيرون المتبلر ، ثم وضع صيغته . في سنة1955 قام وتستين بتركيب هذا الهورمون الانشط بخمسين مرة من ديزوكسي ـ كورتيكو ـ ستيرون .

في هذه الاثناء في سنة1949 كان رئيس السلسلة في هذه الهورمونات وهو الكورتيزون قد دخل دخولاً باهراً في الاستطباب (ف . س . هنش وأ . ك . كندال) . وتم تركيبه صناعياً انطلاقاً من الستيرول . إن النهضة السريعة في الاستطباب بهورمونات القشرة فوق الكليوية الذي تلا سوف يعرض فيما بعد ، مع التقدم المهم في مجال التركيبات الحديثة (الفقرة V من الفصل القادم) .

ج ـ وأخيراً نتجت عن القشرة (كورتكس)، فئة الاندروجين فوق الكليوي (اندرينو ستيرون ، ديهيدرو ابياندرو ستيرون) التي يتزايد معدلها بتأثير A. C. T. H .

وتخريب الغدة فوق الكلية (موض اديسون) يقلص افراز كل هذه الهورمونات ومعدلها البولي . ومن السهل اليوم معالجة ذلك .

إن الغدة فوق الكلية قد تفرز الكثير من الالدوستيرون دون أن يكون هناك انتفاخ في القشرة (كورتكس) (كون ، 1954) أما اثناء الاصابة بالادمة أو بالقلب أو بالكلية (لوتشر ، 1954) أو بالاصابات الكبدية (وولف Wolff ، 1955) . إن الكثير من الغلوكو ـ كورتيكوييد ، على أساس ورم حقيقي أو بفعل هيبربلاسي ، يسبّب مرض كوشن Cushing (1932) . إن الزيادة في الاندروجين الورمي أو غير الورمي ترجّل المرأة البالغة ؛ وعند الشباب تؤدي زيادة الأندروجين إلى البلوغ المبكر الكاذب ، وإذا بدأ باكراً في الرحم ، فإنه يذكّر إلى حدٍ ما ويعمق الاعضاء التناسلية الخارجية عند الفتاة . وفي عارض دبريه ـ فيبيجيه Debré- Fibiger ، الذي يقرن علامات تزايد الاندروجين بنقص الوظائف فوق الكلية ، أمكن حديثاً اثبات أن الاضطراب الأوّلي ناتج عن قصور الغدة فوق الكلية عن تركيب الغلوكو كورتيكوييد ؛ إن الزيادة في A. C. T. H الناتجة عن النخامية الناشطة ، تحفز عمل الغدة فوق الكلية التي تفرز في الدورة الدموية افرازات اندروجين ، فإذا لجمت النخامية ، وضع الكورتزيون حداً لهذه الزيادة في الاندروجين (ويلكنس Wilkins ، 1955-1950) .

أن المعايير من الكورتيكو ييد فوق الكلوية ، في البول ، وتكسيرها الكروماتوغرافي (الاستشرابي) ودراسة تفاعلات الكورتكس مع A. C. T. H قدمت للتشخيص ، وأيضاً لمعالجة مرض اديسون ، ولاعراض فرط النشاط فوق الكلوي عناصر ذات دقة لا تضارع .

هورمونات النخامية الخلفية أو الجيب الخلفي ـ من هذا الامتداد للجهاز العصبي استخرج أوليفر وشاربي ـ شافر ، سنة1895 ، مستحلباً يرفع الضغط الشرياني . ورغم أنه من بنية غير صمائية ، فإن الجيب الخلفي ينتج اذن هورمونات بفضلها ينخفض الافراز للماء ، خاصة في الزرب التفه (ماغانس وشافر 1901) . إلى هذا المفعول الذي تقوم به النخامية الخلفية ، أضاف دال سنة1909 ، مفعولاً محفزاً يؤثر في تقلص العضل المهبلي وغيره من العضلات الملساء (افراز الحليب) ، وتعزى هذه الخصائص الثلاث إلى ثلاثة هورمونات متميزة : ڤازوبرسين ، هورمون مضاد للادرار (انتي ديوريتيك) (A. D. H)، أوسيتوسين. بعد التنقيات المتالية ، ردُّ وضع الصيغ (دو فينيوه ، فروماجوت) ، وأخيراً التركيب الرائع جداً (أول تركيب لهورمونات بروتينية) الذي حققه دوفينيوه (1953) إلى اثنين الهورمونات النخامية الخلفية وهما : A. D. H (أوڤازوبرسين) ، والأوسيتوسين .

إن الـ A. D. H الذي يمنع تسرب الماء من عبر الكلية ، سوف ينتظم افرازه بفعل متلقيات ممتصة واقعة في الهيبوتالاموس [وسط الدماغ] ، وحساسة تجاه تغيرات الضغط الامتصاصي (ڤري ، 1947) . وهو يعدل التبول المتزايد في حالة الزرب التفه المتأتي من عطب في النخامية الخلفية . إن الأوسيتوسين ، رغم شيوع استعماله من قبل المولدين ، منازع بشأنه في حالة الولادة الطبيعية . بالمقابل ، من المفترض أنه يفرز بعد مص الحلمة ، فيساعد على اخراج الحليب .

إن الفائدة العقائدية الرئيسية من وراء النخاسية الخلفية (بوست هيپوفيز) ، كونها تابعة للجهاز العصبي (هيپوتالاموس) ، تكمن في اعتبارها اليوم مجرد خزانٍ للمواد المصنعة في الهيبوتالاموس (تحت المهاد) .

الهورمونات الهيبوتالامية ـ إننا ندين لـ شارير Scharrer (1928) وبارغمانك (1949) بالبيان النسيجي لافراز الغدة المخيخية (ديآنسفاليك) (شارير) . الا يصنع الهيبوتالاموس إلا الهورمونات برسم النخامية الورائية ؟

والواقع ، من المعلوم منذ زمن بعيد أن الاصابات الاورامية الصدمية أو الدماغية التي تعتري الهيبوتالاموس ، قد تتسبب بفقر في الغدة النخامية الامامية من شأنه أن يؤثر بشكل واضح في المناسل . فتجاه الفرضية غير الثابتة القائلة بوجود سيطرة للهيبوتالاموس على الهيبوفيز ، عن الطريق العصبية ، حلت بصورة تدريجية فكرة رقابة مزاجية تتخذ طريق جهاز وعائي هو مدخل خاص يحمل الدم من الهيبوتالاموس نحو النخامية الامامية .

في سنة1955 بيّن غيلّمين أن زراعة من التجويف الامامي لا تفرز A. C. T. H ، الا بوجود مستحلب هيبوتالامي أو نخامي خلفي ، وظن هذا المؤلف أنه توصل إلى عزل مادة خصوصية تحفز افراز A. C. T. H ، وتختلف عن الفازوبرسين الذي يعتبر عند آخرين (سايرس) الحافز الحقيقي .

لقد ثبت اليوم ، على ما يبدو ، إن افراز A. C. T. H من قبل النخامية يحفزه هورمون عصبي هيبوتالاميك (تحت مهادي) للأسف ، إن هذه الاكتشافات الرائعة هي حتى الآن ، بدون مثيل بالنسبة إلى الهورمونات ذات الانتحاء الدرقي أو المنسلي . إن افراز البرولاكتين من قبل نخامية أمامية مزروعة بعيداً عن الهيبوتالاموس (أڤِرِتْ 1954 -1958) يدل على أن المواد المبحوث عنها يمكن أن تكون ذات دور كابح ، أو ذات دور حافز ، بحسب المحفز (ستيمولين) النخامي المعتبر .

إنه في مجال الهورمونات العصبية ، المفتوح حديثاً ، نتوقع حقاً في السنوات المقبلة حدوث انجازات هي الاروع في المجال التجريبي وربما الاستطبابي .

V ـ أمراض الدم

إن التقدم في معرفة امراض الدم قد أربك هذا الفرع من العلم . إن دراسة الاشعاعات ، ونقل الدم ، وتكسر البلاسما ، والتحليل المتمادي في رهافته ، فيما يتعلق بأواليات تخثير الدم ، ونهضة المناعة الهيماتولوجية [المتعلقة بامراض الدم واعضاء الدم واعضاء تكوينه] ، ومعرفة تعددية الهيموغلوبين ، والمكتسبات التي تقدمها البيوكيمياء ، والكيمياء الخلوية والفيزياء النظائرية ، والميكروسكوب الالكتروني ، وكثيراً من الاكتشافات هي التي بدلت معرفتنا حول أمراض الدم .

فئات الدم . المضادات ـ لن نعود لا إلى اكتشاف الالتحام أو التلازن المماثل Isoagglutination ولا إلى فئات الدم (لاندستينر Landsteiner ، 1900 ؛ الخ) ولا إلى اكتشاف العامل (Rh) ، وكلها قد سبق ذكرها (راجع بهذا الشأن دراسة ر . كهل الفقرة II ، الفصل II من

القسم الرابع) والتي سوف نعرض بعض نتائجها فيما بعد (الفقرة V من الفصل القادم) . نذكر على كل حال أنه في سنة 1945 ، استغل اكتشاف العامل (Rh) من قبل وينر Wiener وبيترس اللذين بيّنا أن ردات فعل ثقل الدم ربما تعود إلى هذا المولد المضاد (انتجين) ، ومن قبل ليفين ، كاتزن وبورنهام الذين ربطوا مرض انحلال الدم عند الوليد الجديد بعدم توافق دم الوليد مع دم أمه .

- في سنة 1945 ، اكتشف كومبس Coombs ، موران Mourant وراس Race المضادات غير الكاملة (غير الملزنة) باستعمال مصل الأرنب ذي غلوبيلين مضاد للإنسان (اختبار كومبس) . انها نقطة انطلاق كل المناعة ـ الدموية البشرية التي لحظت بداياتها باكتشاف (شوفارد ، هايم ، ومينكوسكي ، 1907) اهمية الهشاشة الامتصاصية في الكريات الحمر في حالة الصفراء (اليرقان) الدموية الولادية . نذكر أيضاً أن مارشيافافا Marchiafava عزل سنة 1928 حالة انحلال الهيموغلوبين الليلي في أوجه أو ما يسمى مرض مارشيافافا ـ ميشيلي ، وسببه تغيير مكتسب في غشاء الكريات الحمر بعد أن أصبحت حساسة تجاه عامل انحلالي تدميري ، وربما كان البروبردين .

في سنة 1946 أوضح بورمان ، دود Dodd ولوتيت Loutit ، بفضل اختبار كومبس ، الاوالية الفيزيائية المرضية في حالة فقر الدم الانحلالي بفعل توليد المضادات ذاتياً . انها نقطة انطلاق كل علم الامراض بفعل الاعتداء الذاتي ، والذي يتجاوز الآن ، علم الدم ؛ لقد روجعت أواليته من قبل فيدال وابرامي سنة 1907 ، وقد وصف أول مرض بانحلال الدم ذاتياً من قبل دوناث ولاند ستينر سنة 1904 .

اضطرابات التخثر ـ دون الرجوع إلى تاريخ توضيح أوالية تخثر الدم (راجع بهذا الموضوع دراسة ر . كهل الفقرة II ، الفصل II من القسم الرابع) نذكر فقط الاكتشافات الطبية المهمة المتعلقة به .

في مجال اضطرابات التخثر ، وصف غلانزمان سنة 1918 الترمباستيني (تجلّط الدم) المعروف اليوم باسم مرض غلانزمان ، وهو مرض ولادي وراثي ، مرتبط باضطراب في الصفائح متميز بعدم تراجع الجلطة .

في سنة 1931 وصف ويلبراند مرضاً نزيفياً تكوينياً ، وراثياً ، متميزاً بطول مدة الرعف دون انسداد شرياني (ترومبوبيني) وأعطاه اسم الاستعداد الكاذب للنزف .

إن هذا الوصف الاساسي قد استكمل باعمال جورجنس (1933-1957) ، وأعمال الكسندر وغولدستين (1953) ونيلسون (1958) من أجل معرفة عارض ويلبراند Willebrand ، باعتباره امتداداً لوقت الرعف المقرون بنقص في العامل المضاد للنزف A.

سنة 1937 بين باتك وستيتسون بان النزف المعروف منذ أكثر من قرن يعزى إلى عدم وجود عامل سمياه بالغلوبيلين المضاد للنزف (انتي ـ هيموفيليك) .

وفي سنة 1947 وصف اورن Owren شبه النزف أو النقص الولادي في العامل V (پروآكسيليرين) . واكتشاف بيغس وآغجيلر Aggeler سنة 1952 للعامل الثاني المضاد للنزف ،

أتاح تمييز نمطين من النزف A وB . وكذلك اكتشاف العامل III (رونتال 1953) كشف عن استعداد نزفي قريب من الهيموفيلي (P.T.A) أونقص في البلاسما التجلطية السابقة (ثرومبوبلاستين) .

الهموغلوبينات غير الطبيعية ـ جدير بالذكر أيضاً الاكتشاف المهم « لمرض جزيئي » في الهموغلوبين ، يحل فيه هموغلوبين غير طبيعي محل هموغلوبين طبيعي .

في سنة 1949 بيَّن پولنغ ، ايتانو ، سنجر وول أن هموغلوبين المرضى المصابين بانحلال الدم (انيميا) ذي الخلايا المموهة الشكل أو (دريبانوسيتير) يختلف عن الهموغلوبين الطبيعي بخصائصه الكهركيميائية التي سببها تغييرات بسيطة في تركيبة الحوامض الامينية المكونة له ، وإن هذا الشذوذ يفسر اعراض المرض .

منذ هذا الاكتشاف الاساسي ، أتاحت التقنيات التحليلية اثبات العديد من الهموغلوبينات غير الطبيعية . ولدى العيادي اليوم الوسيلة لكي يشخص بدقة الامراض الدموية التي كان يصنفها في السابق ضمن الاعراض الواسعة لانحلال الدم الداخلة في علم الاسباب (إتيولوجي) غير المعروفة، حيث كان المرض يعزى إلى الخلايا الحمر لا إلى الهموغلوبين . وأصبح عالم الوراثة يرى تجسد تخلف وراثي كان يعتبر حتى ذلك الحين تراجعياً تماماً : إن الفرد المريض يحمل الهموغلوبين غير الطبيعي الوحيد ؛ أما الفرد المختلف الاقتران ، السليم ظاهرياً ، ولكنه يحمل التخلف ، فإنه يمتلك بالتساوي تقريباً النوعين من الهموغلوبين . وأخيراً يلاحظ الباحث ، في هذه الحالات الخصوصية كيف أن الاصابة البيوكيميائية هي في أصل الاعراض العيادية . وحتى عالم الانسال ، يستطيع ، عن طريق الهموغلوبين غير الطبيعي ، إن يعيد تركيب الهجرة التاريخية للسكان .

VI ـ علم أمراض القلب

من خمسين سنة ، قلَّما توفر ، في علم الامراض القلبية ، غير الفحص السريري وغير قياس الضغط الشرياني . إن التقنيات الجديدة : التصوير الشعاعي ، وتصوير القلب والأوعية ، والتصوير الكهربائي القلبي ، والتمييل القلبي ، قد أصبحت قسماً متمماً للفحص القلبي الكامل ، كما أتاحت التقدم المحسوس في معرفة أمراض القلب .

وإذا كانت امراض الجهاز القلبي الدوراني تمثل ، إلى حد بعيد ، السبب الرئيسي للموت في النصف الأول من الحياة ، فإننا نعرف اليوم أن المسؤول الكبير عن ذلك هو تصلب الشرايين التاجية . إن تصلب الشرايين التاجية أو الكوروناريت يقلص تقديم الاوكسجين لعضلة القلب مما يسبب اضطرابات في أيض العضلة القلبية مما يسبب حتى التعصيب في العضل القلبي الذي يترجم بانحلال لا رجعة فيه في هذه العضلة ، أو بآلام عنيفة ، هي آلام الذبحة القلبية أو بالموت المفاجيء .

هذه الاصابة للتاجيات معروفة تشريحياً منذ زمن بعيد ، خاصة بعد اطروحة رينه ماري René Marie حول انسداد نسيج القلب (1896) ، ولكن نهضة التصوير الكهربائي القلبي ، التي كشفت الاضطرابات في توليد الكهرباء القلبية هي التي أتاحت مقارنة الاضطرابات الكهربائية بالدلائل

العيادية ، بفضل أعمال باردي (1920) ، وباركنسون (1927) ، وبدفورد (1942) وويلسون (1924-1948) حول الانسداد التاجي ، وانسداد نسيج القلب وتموضعاته المختلفة .

إنه لواحد من المكاسب العظيمة في طب القرن العشرين مفهوم عدم الكفاية التاجية ، المدعوم بمعايير قوية عيادية ، كهربائية وتشريحية ، ولكن التقدم ليس أقلّ في مجال أعراض القلب الولادية .

إن اكتشافات الرواد من القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر : سيناك ، ف . فرانك ، فالُوت ، الذين وصفوا الاعراض والامراض ، روكيتانسكي ، آ . كيث ، سبيتزر ، الذين بحثوا عن تفسير للتشويهات بتطبيق اكتشافات علم الاجنة والتشريح المقارن أعدّت لعمل القرن العشرين : تركيب م . آبوط Abbott(1932) ، جراحة القناة الشريانية المربوطة من قبل ر . أ . غروس (1939) ، الفكرة الأصلية عن « جراحة تعويضية » لـ هـ . توسيغ (1944) ـ حققها بروعة آ . بلالوك (1945) بشكل (اناستوموز) تفحم بين فرع من الاورطي وفرع من الشريان الرئوي ضد رباعية فالُوت ـ ثمّ تصحيح ضيق الممر الأورطي (الأبهر) (ر . غروس وهو فناجل ، ك . كرافورد مع أ . مانهيمر ، ت . ويكلوندوج . نيلين (1939) . ولكن لم يكن أي شيء ليستكمل لولا علم تصوير الاوعية القلبية (آنجيو ـ كارديو ـ غرافي) الذي قام به لويو دي كارڤالو ، ايغاس مونيز وآ . ليما .(1931) ، وبدون العمل الرائع الفيزيولوجي وهو التمييل القلبي الذي صممه وطبقه على أمراض القلب الولادية آندره كورناند وفريقه (1941). متبوعاً بدراسات ر . ج . بنغ وفريقه .

في السنوات التي تلت الحرب العالمية الثانية ، أتاحت سلسلة من الاكتشافات لمعرفتنا ، وغالباً لمعالجة جراحية فعالة ، مجموعة كانت حتى ذلك الحين غامضة وغير قابلة للشفاء اطلاقاً من أمراض القلب الولادية (أنظر الفقرة VIII ، الفصل III من هذا القسم) .

ولكن عدا عن التشوهات التي تصيب القلب منذ ما قبل الولادة ، وعدا عن تصلب الشريان التاجي الذي يتمزق في النصف الثاني من العمر ، هناك خطر ثالث يتهدده ؛ الروماتيزم المفصلي الحاد ، الذي يقتل بسرعة ، خالقاً عدداً كبيراً من المعاقين النهائيين ، في عز الشباب وعز النشاط ، ويمثل عملياً السبب الرئيسي لامراض القلب المكتسبة في الشباب . هذا المرض سببه جرثومة سبحية في الدم المنحل من فئة A(كوبرن 1931 ؛ كوليس 1934 ؛ لانسفيلد 1928 : التعرف على الجراثيم السبحية (ستربتوكوك) بالتجميع والتنميط ؛ تودّ Todd ، 1938 : التثبت من وجود مضادات جرثومية سبحة في الدم) تهاجم الاغشية الثلاثية المكونة للقلب ، وخاصة بطانة القلب (الاندوكارد) ، وتتشبث غالباً بالصمام فتعطل عمله نهائياً .

إن الدراسة العيادية لامراض القلب الصمامية الروماتيزمية كانت متقدمة جداً في مطلع القرن . منذ خمس عشرة سنة ، كان أسلوب عمل المرض قد توضح نهائياً بواسطة التمييل الذي قادنا إلى الحقبة الناشطة في تاريخ الدم .

إن الحافز الناتج عن الضيق التاجي يمدد الاذين الايسر ، ويؤدي إلى ارتفاع الضغط في الأوردة ثمّ الشعريات الرئوية ، ويربك كل الدورة الصغرى ، وينتهي برفع الضغط في الشريان

الـرئوي ، ويـرهق البطين الأيمن . وعـواقبه تسجـل تنوعـاتها وأخـطارها على مخـطط نشاط الـدورة الدمويـة والكهربـائية القلبيـة . إنّ المعلومات التي تقـدمُها هـذه الاستكشافـات إضافـة إلى الدلائـل العيادية ، هي التي تقرر ضرورة وإمكانية التدخل الجراحي .

VII ـ ارتفاع الضغط وأمراض الأوعية

إن مسألة علم تولد الامراض (باثوجيني) وعلـم الأمراض الفيـزيولـوجية النـاتجة عن ارتفـاع الضغط الشرياني الدائم قد أثارت العديد من الأعمال. إن تصور ارتفاع ضغط من منشأ كليوي، كان موضوع ظنون منذ زمن بعيد ، بسبب تكاثر ارتفاع الضغط الدموي في التهابات الكلية ، ولكنه كـان يصـطدم بصعوبـة هي : استحالـة استحداثـه تجريبيـاً بتخريب الكليـة . ولكن هـ . غـولـدبـلات Goldblatt سنـة 1934 ، أثبت أنه بـالامكان افتعـال ضغط مرتفـع دائم عند الحيـوان ، وذلك بخلق ضيق كليوي بواسطة ملاقط تضيق فتحة الشرايين الكليوية .

وقد امكن تبيين أن مثل هذا الضغط المرتفع كان مرتبطاً بافراز مادة خاصة من الكلية المضيق عليها سماها البعض كلين (rénine) (باج ، هوسّاي ، تيجرستدت Tigerstedt) ، ولكن طبيعتها بقيت مجهولة . إن مقارنة التجارب المذكورة أعلاه ، والوقائـع العياديـة بدت مثمـرة بسرعـة : فقد أمكن الحصول ، بواسطة تقنية غولدبـلات على ارتفاعـات ضغط مع قصـور كليوي خـطير ، وعلى ارتفاعات ضغط معزولة ، بحسب مـا إذا كان التضييق على الشـرايين الكليويـة شديـداً أو معتدلاً .
ولكن طـالما لا يوجد تـوضيح حـول أسباب ارتفـاع الضغط الشريـاني المعزول ، البشـري ، بقيت المسألة معلقة . وقد تم التركيز في السنوات الأخيرة (بـاركر) على الضغـوطات الشـريانيـة بواسـطة الامراض الكليوي الوحيد الطرف (أو عن طريق عـطب المسالـك الافرازيـة) الذي يمكن أن يشفى باستـئصال الكلية المريضة .

إن عدداً من الضغوطات الشريانية ليس سببه ، بالتـأكيد ، الاصـابة الكليـوية : الضغـوطات المعـزوة إلى ورم غددي قـاعدي في النخـامية (مـرض كوشنـغ) ، أو إلى إصابـة في القشرة فـوق الكلية الاولية ، والضغوطات الناتجة عن ارتفاع الافراز فوق الكلية (هيبر ـ الدوستيرونيسم) الاولي (عَرَض كونّ) والضغوطات المرضية لـدى المرضى الـذين تناولـوا A.C.T.H أو الكورتيـزون ، أو ديزوكسي ـ كورتيكو ـ ستيرون . إن الهيبرنفروما اللبية المولدة للضغط تسبّب ، في أكثر الاحيان ، ضغـوطات دائمـة أكثر ممـا تتسبب بأزمـات ضغطيـة حـادة : وتشخيصهـا سَهّلَهُ التصـويـر الشعـاعي للمنطقة القطنية بعد إزالة الزرع الصفاق Pneumorétropéritoine (ريفـاس ، 1950) بعد الاختبـار بـواسطة الـريجيتين (غريمسـون ، 1949) ، وبعد تعيير الكاتيكـولامينات البـولية (غـولـدنبـرغ ، 1954) .

إن الولادة المرضية للآتيروسكليروز (تصلب الشرايين) محكومـة باضـطرابات هـورمونيـة : تزايد تفعل « كونكل » تجاه الفينول ، الكولستيرول المرضي ، تـزايد الـدهن المرضي(غـوفمان ، 1950-1952 ؛ كاتز ، 1953) .

تدل الدراسات بواسـطة المسبر الكهربائي ، ان الكسـور B البـطيئة وB1 البـطيئة جـداً هي التي

ترتفع ، في ميزان الدهن ، على حساب كسور β السريعة وα (راينود ، ديسهوكس ، وياسكت ، 1955) . إن الوجود الدائم للجزيئات ذات الثقل النوعي الضعيف ، وذات الحجم الكبير والوزن الجزيئي المرتفع ، المحتوي على كثير من الدهون وعلى قليل من البروتيد ، هو الذي يتحكم بتصلب الشرايين (غوفمان) . إن مرض الكبد الفيزيولوجي قادر على أن يبدد الجزيئات الكبرى وأن يشتت الكوليسترول : من هنا الاهمية الاستطبابية للهيبارين .

وقد أوضحت الاعمال الكثيرة كثرة الانسداد الوريدي الكامن في الاطراف السفلى ، والمسؤولة عن الاحتقانات الرئوية (دينيك Deneck ، اولو Olow ، فريكولم ، هومانس ، 1934 ؛ لونيغر Lenègre وماثيفات Mathivat ، 1945) . اعطت الصور الوريدية ، التي وضعها ر. دوس سانتوس Dos Santos ، معلومات ثمينة ، وأوضحت مقر وامتداد الجلطة ، ودخلت في الاستعمال الشائع .

VIII ـ أمراض الكلية

في سنة 1903 و1911 عزل فرناند فيدال ، وهو يحلل الواحد تلو الآخر اعراض التهاب الكلية ، وبوثوق عبقري في الحكم ، أربعة عوارض لكل منها أساس فيزيولوجي مختلف : الزلال ، الادمة (الاستسقاء) ، العرض الأزوتي ، العرض الضغطي . واليرم ما تزال هذه الأعراض تحتفظ بأساس متين ، رغم أن تقدم معارفنا قد أدى إلى إدخال بعض التعديلات عليها .

وبداية القرن العشرين تدل على الانطلاقة الكبيرة في الاستكشاف الوظيفي للكلية . وقد رأت العشرون سنة الأخيرة ظهور ووضوح النظرية الجديدة لعمل النفرون أو حشوة الكلية وأدوارها الثلاثة المختلفة : التصفية ، إعادة الامتصاص ، والاخراج أو الافراز .

وهذه النظرية التي أطلقها كارل لودفيغ سنة 1843 ، وعاد إليها هـ . و. كوشنغ سنة 1927 ، لم تكن إلاّ فرضية بقيت كذلك إلى أن جاءت أعمال الباحثين المعاصرين تُراكم البراهين . فقد توصل ستارلينغ وڤيرني ، بواسطة التحضير : « قلب ، رئة ، كلية » ، وريشاردس (1924-1933) ، بواسطة التنقيط الميكروسكوبي للنفرونات ، رهبرغ ، هـ.و. سميث ، غوفارتس ، آ. ووكر ، ج. أوليفيه ، ب. بوت ، م. مكدويل ، وآخرون أيضاً ، بدراسة الاخراجات الكليوية ، توصلوا جميعهم إلى جمع ضمة من البراهين الحاسمة لصالح عملية التصفية ـ إعادة الامتصاص ، ولصالح عنصر ثالث متدخل في تكوُّن البول ، وإخراج بعض المواد من خلال الخلايا الانبوبية .

من هذه الاعمال انبثقت انجازات حاسمة في فهم الوظيفة الكليوية التي وضع أمبارد Ambard سنة 1910 ، وكان الأول ، دراسة كمية عنها . إن التجربة البولية ـ الافرازية التي قام بها أمبارد قد ساعدت على إلهام الاعمال الحديثة التي أدت إلى التوضيح وخاصة إلى الاختبار الذي قام به فان سلايك ، أو برهان التنقية البولية (1921) . وطريقة التوضيح أو مُعامل التنقية البلاسمية لمختلف المواد المدخلة والتي يتأمن استبعادها بفضل عملية محصورة الوضع بهذا الشق من الانبوب البولي ، أو ذاك ، قد أحرزت تقدماً كبيراً وحسّنت معارفنا حول افراز الماء ، والغلوكوز ، وحول الكهرلات .

وهناك طرق أخرى قد جهدت في توضيح طاقة الكلية على الاخراج : استبعاد الفينوسيلفون فتالیین (P.S.P) (رونتري Rowntree وجيرافتي Geraghty 1910) .

في سنة 1905 انجزج . الباران اختباره حول البولة المتعددة التجريبية ، مما مكّن من دراسة إفراز الماء من الكليتين بعد تمييل مجاري البول . وقد قرر قانون الباران Albarran ان الكلية المريضة ذات منتوج أقل من الكلية السليمة ، وان عملها يختلف بمقدار ما تكون إصابة النسيج أكثر خطورة .

في سنة 1910 اقترح ڤاكز Vaquez وكولّيه Collet اختبار التبويل المفتعل . وبنفس السنة انجز ڤولهارد Volhard وتلاميذه اختبار الماء ، أو اختبار السيولة المركزة ؛ وكما قرر الباران تُقدر مرونة عمل الكلية من خلال التغييرات الكبيرة في الكمية وفي سيولة العينات المستبعدة . ووحدة الحجم والكثافة في العينات تعبر عن ارتباك وظيفي خطير . وهذا الاختبار الذي عُرف باسم الباران ـ فولهارد يستعمل يومياً .

نبدأ بعدها في استعراض الوظائف الصماء للكلية ، في سنة 1921 قرر ناش وبنديكت بأن معظم الامونياك البولي يتشكل في الانبوب البولي الصغير وان هذه الاوالية تقترن بوظائف اخرى داخلية لمقاومة التحميض . وثبت أن الكلية هي العضو الاكثر أهمية من أجل المحافظة على ثبوتية الوسط الداخلي . وتم إكتشاف طرق قياس لكل من القطاعين ، الخلوي وخارج الخلوي في الجسم (بيترس 1931-1944 ، غامبيل 1942 ؛ فان سلايك ، ر. ماش 1942 ؛ ر. كاشيرا ، 1945-1952) .

وهناك طرق أخرى للاستكشاف الوظيفي تثبت وتتوضح ، مثل اختبارالتفاوت في الثقل النوعي في ما وراء النخامية (همبُرغر Hamburger وميّيه Millet) . نذكر أيضاً الاهمية الضخمة التي لعبها التصوير البولي عبر الاوردة ، والذي أدخله أ. ڤون ليكتنبرغ Lichtenberg وم. سويك Swick سنة 1929 .

إن الاعراض الكبرى لأمراض الكلية قد أصبحت معروفة بصورة أفضل . من مرض الكلية الاستسقائي ، الذي يسببه حبس الملح ، وهو توضيح قدمه ڤيدال ولومير سنة 1903 ، عن هذا المرض ينفصل العارض النفروتيكي (مرض الكلية النسيجي) ، وقد خصص له ابستين سلسلة من الدراسات (1912-1917) ، مركزاً على الاضطرابات البروتيدية الذهنية ، التي أصبحت عنصراً أساسياً في تشخيص هذا العارض . على أثر أعمال آدّيس ودوبري والمجموعة أصبح التهاب الكلية الحاد الستريبتوكوكسيك ، الكثير الحصول عند الاطفال ، أكثر وضوحاً وتمييزاً لفرديته . في كل حالات القصور الكليوي ، وإلى جانب الحبس الأزوتي ، أصبح الآن ممكناً تتبع اضطرابات التوازن بين الحامض والقاعدة ، وتتبع اضطرابات التوازن الامتصاصي ، وفرط التكلس ، وزيادة ونقص الكاليمين (دارو Darrow ويانت Yannet ، بيترس ، فان سلايك Van Slyke ، ماك Mach ، غامبل ، همبرغر) ، التي بدت أهميتها كبيرة خاصة في حالات المرض الكليوي الانبوبي الحاد ، من أجل توجيه النظام الطعامي ، وأساليب الاشتقاق الكليوي الخارجي ، ثم اجتياز المريض لقطوع الخطر .

إن الانجازات قد تزامنت بتأكيد في مجال علم البولة بفضل التقنيات الاستكشافية التصويرية بالاشعة وبفضل المعلومات الحديثة في مجال الفيزيولوجيا الكليوية .

إن الاستكشاف الاشعاعي للمجاري البولية السفلى قد استغنى في هذه السنوات الاخيرة بالعديد من الأساليب منها : التصوير الخلوي للانشاءات (آ. فون ليكتنبرغ 1905 ، البنيمو- سيستو- غرافيا (روزنشتاين ، 1924) ، طريقة الفلاك (فاليبونا Vallebona ، روفو Roffo ، 1926) ، تصوير المجاري البولية التراجعي (سيكارد وفورمتيه ، 1925) ، وأخيراً تصوير الاوعية الكليوية (ر. دوس سانتوس وكلداس ، 1929) الذي يتحقق الآن بسبر أو ميل في الشريان الفخذي (فاريناس Farinas ، 1946 ، هلمسورت Helmswort ، 1950) .

وهناك تقنيتان حديثتان : الكليشهات التوموغرافية بعد التصوير البولي وبعد التصوير الاشعاعي ، على أثر التراجع التنفسي الشحمي ، وهي تستعمل عادة في مجال علم البول من أجل تشخيص الاورام في المنطقة القطنية . إن الاتجاه الجديد يقوم على استبدال الاساليب الاستكشافية للمجاري البولية في الحالة الثبوتية بالتقنيات التي تسجل على الحي العملية الفيزيولوجية والمرضية للافرازات البولية : التصوير الاشعاعي السينمائي ودراسة تسجيلات الضغط .

ولكن في هذا المجال خطا علمُ البول بفضل المكاسب الجديدة في علم البكتيريا وفي التشريح المرضي ، وكذلك بعد اكتشاف المضادات الحيوية ، خطوة كبيرة .

إن التولد المرضي للانواع الثلاثة من الاصابات وهي : الامراض الانتانية ذات كوكسي غرام + ، والامراض الصاعدة ذات العُصيّة غرام − ، والامراض السلية البولية ، كان غير معروف تماماً ، واستكشافها الطبي غير موجود . وقد ساهمت أعمال بروير في نكلترا ، وهلمهولتز في أميركا، وماريون وهيتز- بوابيه Heitz-Boyer في فرنسا ، في تحسين معرفة مجموعات الميكروبات البولية ، ومعرفة طرق انتشارها ؛ لقد أوضح هيتز- بوابيه في وصف العارض الكليوي الداخلي ، العلاقات الموجودة بين الجراثيم الامعائية والجراثيم البولية ، وركز على انتقال العُصيّة الكوليباسيل المولّدة للمرض من الأنبوب الهضمي إلى الجهاز البولي ، في كثير من الأحيان .

وظهور المشتقات السلفاميدية ، ثم المضادات الحيوية الفطرية غيّر تماماً معالجة وتطور أمراض الكلية والمجاري البولية .

وتعدد وانتقاء الجراثيم البولية فرضا قواعد استطبابية ، فإذا احترمت هذه القواعد ، أصبحت المعالجة حاسمة في مجال الامراض البولية والكليوية الحادة . إلا أن القواعد التطورية تبقى هي ذاتها . وفشل الاستطباب ، ثم النكسات والانتقال إلى حالة الاستعصاء هما في أغلب الاحيان نتيجة استقصاء غير كافٍ للحالة المرضية .

IX ـ أمراض الكبد والبنكرياس

لقد تم تحقيق تقدم متتابع في معرفة الوظائف الكبدية منذ مطلع القرن : تشكل البروتينات

في الكبد (كرّ ، هوروتيز وويبل ، 1918 ، روز 1937) ؛ تشكل التليّف (دويون ، 1905 ، نولف ، 1927) ؛ تشكل البروترومبين (سميث ، وارنر وبرينكهوس ، 1937) ؛ انتقال الأمينات (برونستين وكريتزمان ، 1937) ؛ زوال الأمينات المؤكسدة (كريس ، 1932) ؛ التخزين البروتيدي (مورافيتز Morawitz ، 1906 ؛ آدّيس ، 1936) ؛ الايض الدهني (فرايزر ، 1946) ؛ النتيجة التجريبية للاصابات الكبدية (مان Mann وماغاث Magath ، 1921 ؛ بولمان ومان ، 1924 - 1936 ، وارنر ، 1938) . هذا التقدم المتتابع قد أتاح إنجاز العديد من الاختبارات التي تمكن من تقدير القصور الكبدي .

إنه بخلال عدة سنوات تم اكتشاف الطبيعة الفيروسية للعديد من حالات اليرقان المرضي وخاصة اليرقان الالتهابي الذي عُرفت وبائيته منذ زمن بعيد .

في سنة 1943 أثبت ليد وميدنغ ولوز وجود فيروس في العصارة الاثني عشرية من مرضى اليرقان في اليوم الأول . وفي سنة 1943 لقح كاميرون متبرعين بدم المرضى في الحالة السابقة لليرقان ، وحصل بالتالي على نقل بشري للفيروس المولد لليرقان . في سنة 1944 استحدث هافنس اليرقان عند الانسان انطلاقاً من مواد خروجية من الافراد المصابين بمرض الكبد الوبائي . وفي سنة 1945 أثبت نيفي وستوكس وجود فيروس في ماء المراحيض الموبوءة بمواد خروجية من أفراد مصابين باليرقان الوبائي . وميز فنذلي وماك كلوم ، وساير وماك ملتي مرض الكبد الوبائي الذي تتم عداوته عن طريق مائية ، ومرض الكبد المصلي على أثر دخول فيروس إلى الجسم عند عملية نقل دم أو بلاسما أو مصل أو بمناسبة استطبابات بين الاقارب المجتمعين . وعرّفت أعمال مارشان (1895) ، ومالوري (1911) ، وبرغستراند (1928) ، وفيز - منجسر (1929) ، وشابرول (1932) ، عرّفت بتطور مراض الكبد اليرقانية وتحولها إلى تليف . ولكن أحد المكتسبات الاكثر أهمية في هذه السنوات الاخيرة هو اكتشاف الدور الرئيسي الذي يلعبه النقص الغذائي وعدم التوازن في الطعام في توليد العديد من أمراض الكبد .

إن الاعمال التجريبية التي قام بها ريش Rich وهاملتون سنة 1940 وزنت - جيورجي Szent-Györgyi وغولدبلات سنة 1939 بينت أن الانظمة الغذائية الفقيرة جداً بالپروتيد وبالشحوم قد تتسبب بأمراض تليفية وبارتشاح دهني وبنخر كبدي .

وحصل سبلبرغ Spellberg وكيتون Keeton (1940) ، وكوبو ومعاونوه (1946) على نفس النتائج بفضل أنظمة غذائية تقوم على نقص بروتيني وعلى إفراط دهني . إن التليف الغذائي البشري المسمى مدارياً قد درس بذات الوقت . إنالكواشيوركورKwashiorkor أو السغل الغذائي الذي وصف لأول مرة من قبل أ. كوفيرنو Cofirno في أميركا الوسطى ومن قبل ك . ل . وليامس في غانا (1935) هو دليل فقر غذائي طفولي معقد حيث يسيطر فيه انعدام البروتيدات مما يسبب إلى جانب الارتشاح أو النخر وإلى جانب التحجر الكبدي ، اختلال لون الجلد . وقد تم أيضاً إثبات التشمع الكحولي الأساسي الذي يسبق التليف ، محققاً ارتشاحاً (كونور Connor ، 1938 ؛ كاشيرا Cachera وفريقه، 1950- 1951) .

إن الدراسة الاشعاعية للجهاز الباب قد أغنت معارفنا حول أوالية ارتفاع الضغط وحول ركود

الدم البابي ، وساهمت في توضيخ وفي تصحيح الكثير من الأفكار حول الأمراض الكبدية والوعائية البابية والطحالية . في الأصل يقع العمل التجريبي الذي قام به إباتيسي وكامبي (1951) حيث تبين على الكلب إمكانية تكثيف الشجرة الطحالية بإدخال مواد من أجل تباين التنوير في النسيج الطحالي . وفي ذات السنة كثف ليجيه لأول مرة ، عند الإنسان ، الشجرة الطحالية البابية .

ونمو التصوير الطحالي البابي عبر الجانب ، وإثبات وجود فاريس معدوية زلعومية في الصورة الإشعاعية ومثل ذلك من الاستكشافات أتاحت معرفة أفضل بأمراض الطحال الليفية ، ردة فعل طبيعية من قبل الطحال تجاه ركود الدم الوريدي البابي وتجاه ارتفاع الضغط البابي ، المكشوفين عموماً بفعل نزيف هضمي . والأمر يتعلق غالباً عند الطفل بتشوهات بابية ولادية تضيقية ، وعند البالغ بتليفات في الكبد .

إن التقدم في مجال تقنية الجراحة قد أعاد إلى الأذهان ارتفاع الضغط البابي ، مع مواجهته من قبل بلاك مور ، لورد ، أ.و. ويبل Whipple وبلالوك Blalock (1945) ، التكريس الاستطبابي للتفمّم بين الباب والجوف .

وبفضل الأساليب الجديدة في دراسة المسالك الصفراوية (ميليزي : تصوير مجاري الصفراء يطبّق على الثقوب الصفراوية الخارجية ، 1948 ؛ كارولي : التصوير الاشعاعي القياسي للصفراء مع مزج الحقن بسائل كثيف ، وأخذ كليشيهات وقياس الضغوطات ، 1940 ؛ ج . ماليه Mallet : استكشاف قياسي ثم اشعاعي للمسالك الصفراوية في زمنين مختلفين يكمل أحدهما الآخر ويتحكم به ، 1947) أصبحت الحصاة الصفراوية والجيبية معروفة بصورة أفضل ومعالجتها الجراحية أصبحت أكمل وأفعل .

إنّ الاكتشاف الحديث الأكثر أهمية في مجال أمراض الحلوة (بانكرياس) هو اكتشاف التليف الكيسي (د. اندرسن D. Andersen) ، المسمى أيضاً العسر التنفسي المعوي القصبي الكبدي (غلانزمان ، 1946) ، النخام أو المخاط (بوديان Bodian ، 1953) ، أو الليفة الكيسية (فاربر Farber ، 1954) .

وهناك اختباران للاستكشاف يستعملان بشكل خاص : اختبار العرق (تزايد الكلور والصوديوم في عرق الأطفال المصابين بهذا المرض (عسر التنفس) دي سانت اغنيز Di Sant' agnese ، دارلنغ Darling وفريقه ، 1953) ؛ البحث عن الحلوين (افراز البانكرياس) الغائطي المفقود في هذا المرض (اختبار شواشمن Schwachman ، 1955) ؛ وبصورة احتياطية يستعمل أيضاً اختبار الافتعال اليودي (ليلونغ Lelong وفريقه ، 1952) الذي يقدّر الليباز Lipase (محلل للدهن) في البانكرياس ثم اختبار « هيبر - أمينو اسيديميا » (فرط الحمض الأميني) المفتعل والذي يقدر التريبسين البانكرياسي (وست West ، 1947) .

هذا المرض يبدو مرتبطاً بوراثة متراجعة ، وهو ذو تطور مميت عادة . ولكن من المحتمل وجود أشكال أقل حدة وربما قابلة للشفاء ، وليست استثنائية (شواشمان ، 1957) ، خاصة في حالة الاشكال التنفسية .

والالتهاب الپانكرياسي الحاد أو المزمن ما يزال صعب التشخيص ولكن يمكن أن تساعد عليه دراسة تزايد الاميلاسوري « (وول جيموث Wohlgemuth ، 1910) والاميلاسيمي .

إن تشخيص أورام الپانكرياس أصبح إلى حدٍ ما سهلاً ، في الوقت الحاضر بواسطة تصوير الپانكرياس الذي يظهر قنال ورسونغ (ليجيه Léger ولاتاست Lataste ، 1952) ، ثم الرسم الطبقاتي للپانكرياس المقترن بتصويرٍ تقهقريٍ رئوي صفاقي (ڤالبونا Vallebona ، 1952) .

X ـ أمراض الغذاء

في مطلع القرن العشرين كانت المعارف قليلة حول العلاقة بين الصحة والتغذية . كان من المعروف أن هناك دوراً للپروتيد والشحوم وهيدرات الكربون وبعض الأملاح غير العضوية ، دونما زيادة . واليوم هناك أكثر من أربعين نوعاً غذائياً معروفاً بأنه ضروري للحياة ، خارج نطاق الاحتياجات الحرارية (كالوري) .

وتناولت الانقلابات الأكثر ضخامة العوامل الكبرى الطاقوية لا باعتبارها مولدات حرارية بل كعوالم خصوصية . في سنة 1900 ، ورغم معرفة ثلاثة عشر حامضاً أمينياً ، فإن التركيب الصحيح للمادة البروتيدية كان مجهولاً . في سنة 1935 تمت معرفة تسعة حوامض أمينية جديدة . ومنذ 1924 نشر أوسبورن الجداول الأولى حول تركيب الپروتينات من الحوامض الأمينية (راجع أيضاً حول هذا الموضوع دراسة كلٍّ من ج. إيهد (الفقرة IV ، الفصل XI من القسم الثاني) ور. كيهل (الفقرة I ، الفصل I من القسم الرابع)) .

ومنذ سنة 1900 بدأ الجدل حول الحاجة إلى البروتيد ، ولما ينته الجدل بعد .

من جهة قبل الأميركي ف . و . اتوتر Atwater (1898) والألماني م . روبنر (1902) وجهات نظرك . فون فوات Von Voit ...(1881) الداعي إلى حوالي 120 غراماً من البروتين في اليوم . لكن السويدي سيڤن (1900) والأميركي ر . هـ . شيتندن Chittenden (1904) حافظا على توازن آزوتي بمعدل 25 إلى 30 غراماً باليوم . والمعدل الوسط ومقداره واحد غرام باليوم من البروتين لكل كيلو من الوزن ، هو المعدل المعتمد عموماً . وهذا التقديم يبدو كافياً للإحاطة بمجموع الاحتياجات النوعية الدنيا من الحوامض الأمينية الضرورية .

إن جسم الانسان الراشد في حالة التوازن الآزوتي ، هو في حالة تعديل دائم بين التلف وتركيب المادة البروتينية كما بيَّن ذلك استعمال الحوامض الأمينية الموسومة . ومن المكتسبات الرئيسية فيما يتعلق بالغلوسيد ، غير الاكتشاف الثوري لدور الانسولين ، كانت المعرفة الأفضل بالأيض الوسيط .

إن الجسم قادر على إنتاج الغلوكوز كعامل مولد للطاقة من الدرجة الممتازة على حساب الغلوسيد والليبيدو الپروتيد ، باعتبار أنَّ المستحضر الوسيط يفقد هويته الأصلية .

إن التقدم في مجال التحليل والتركيب الكيميائيين قد أتاح عزل وتوضيح التفاعلات اللاأيضية ، وحالة الأيض التحليلي للمواد الدهنية وتكوّنها .

منذ 1901 اكتشف مغنوس ليفي أوالية التركيب على حساب سلاسل ذات كربونين . وكانت الحوامض الدهنية والكوليستيرول والغليسيريد والليسيتين والسفنغوميلين الخ . قد عرفت . في سنة 1919 قدم تراون وجهة نظر أساسية حين ميز في الأيض الدهني عنصراً ثابتاً وعنصراً متغيراً. والعنصر الأول يتعلق بالدهنيات النسيجية ، ذات البنية الثابتة عملياً : فوسفوليبيد(دهن الفوسفور) ، كوليستيرول ومتفرعاته . والعنصر المتغير يتضمن تريغليسريد ودوره قبل كل شيء طاقوي . وهي تشكل احتياطات الشحم ذات الأساس من الحوامض الدهنية المشبعة أو الوحيدة عدم الاشباع ، والمتعلقة بشكل صارم بالشحنة . إن الدهون مع الحوامض الدهنية الكثيرة اللااشباع تتدخل بشكل خاص في احتياجات النمو وفي الترميم النسيجي .

إن أيض الماء ، والمحللات الكهربائية الرئيسية هي موضوع دراسات عدة ونكتشف من جملة الأشياء وجوداً اضطرارياً ، ضمن الحصة من الماغينزيوم (1915) ومن الزنك (1922) ، ومن النيكل والكوبالت (ج . برتران ، 1926) ، ومن النحاس والمنغنيز (1931) ، إلخ .

ولكن لائحة العناصر الغذائية الضرورية للجسم لم تقفل بعد ، وهناك انقلاب كبير في المعارف قدمه اكتشاف الفيتامينات (راجع الفقرة III من هذا الفصل) . ودور بعض المعادن قد توضح أيضاً .

وهكذا توضحت العلاقات بين النقص اليودي ، والحوصلة ، وبين الفليور واستباق تسوس الأسنان ، وبين الكلس والكزاز . إن النقص الآزوتي ، وهو نقص سائد في وجبة أيام الجوع والشح ، يطبع بطابعه حالات سوء التغذية ، ويعطيها خطورتها ، جاراً وراءه أديمة الجوع ، والغيبوبة الناتجة عن نقص الغليسرين ، والتليّف الغذائي .

إن الأمراض المعروفة حول التغذية مثل السمنة وداء النقطة (النقرس) لم تبق خارج التقدم العام . في مجال الضخامة السمنية يبدو دور الغدد ثانوياً ، باستثناء حالة السمنة الناتجة عن ما فوق الكليتين أو ما يسمى بمرض كوشنغ . إن هناك الكثير من حالات السمنة تعود إلى فرط الغذاء المنفرد . وعلى كل هناك سمنة تكوينية ووراثية حيث يبدو دور الهيبوتالاموس مهماً (الأعمال التجريبية التي قام بها هلهر نغتون ورانسون) .

وإذا كان النقرس قد بقي غامضاً نوعاً ما ، فإن أعمال بندكت وفورشام وستيتن (1949) وهو يلقح حامض البول الموسوم مع آزوت 15 في أوردة المرضى المصابين بهذا المرض ، إن هذه الأعمال قد أتاحت مشاهدة زيادة ضخمة في قيمة « البركة المزجية » أي الكمية العامة من حامض الأوريك المتجولة بالنسبة إلى الأشخاص الطبيعيين . ولكن المسألة لم تحل بالنسبة إلى العوامل المسؤولة عن تراكم حامض الأوريك في جسد النقرسيين .

إن تشخيص التهاب المثانة يجب أن يذكر بشكل منهجي أمام كل داء حصوي في الطفولة : وهذا التشخيص يمكن أن يتم بناء على دراسة كيميائية ، تلوينية كيميائية أو بفعل الانحراف أمام أشعة X ، نتيجة الحصى ، بناءً على تفاعلات براند Brand (1935) ، وسوليفان ، وبواسطة التصوير التلويني الثنائي الأبعاد للبول المؤكسد وفقاً لتقنية دانت (1954) . بيّن دانت أن التهاب

المثانة يتعلق بشذوذ في التحويل الأنبوبي الكليوي ، كما هو حال القصور الغليكوزي في السكري الكليوي (غوفارتس ، لامبير ، 1949) ؛ دوبريه ، روايبه Royer ولسترادت Lestradet ، 1956) .

وقد اغتنى علم تصنيف الأمراض (نوزولوجي) بسلسلة من الحالات المرضية المتميزة بأعباء معظمها شبكي بطاني في الجسم . أن مرض هاند (1893) ، شولر Schuller (1915) ، كرستيان (1919) كان معروفاً كمرض شحمي كولستيرولي ، أما مرض غوشيه (1882) ، فكان معروفاً كمرض دماغي (1924) ؛ ووصف نيمان (1914) ، وبيك (1926) مرض شحم دهني فوسفوري . وتحت اسم « بولي ـ كوري » ، وصف ر . دوبريه جملة من الأعراض تتميّز بتراكم أيض عادي داخل الخلايا النبيلة في الأحشاء : الغليكوجينوز (1921) والستيتوز أو توالد الدهن الكبدي الكثيف (1930) ، الخ .

المظاهر الاستباقية ـ إن معرفة الاضطرابات التي يولدها سوء التغذية أو عدم كفايتها ، والوسائل للشفاء من معظمها قد أدّت إلى تحديد أسس الوجبة الملائمة والواقية . في العالم الواسع السيء التغذية في سنة 1963 ، حيث أكثر من 600 مليون طفل لا يشبعون تبدو هذه البحوث مهمة وملحة . هناك منظمات دولية مثل منظمات الأمم المتحدة : المنظمة العالمية للصحة وتنظيم الغذاء والزراعة ، والصندوق الدولي لمساعدة الطفولة ، والمركز الدولي للطفولة ، الخ . تلح على أهمية مسائل التغذية ، وتحث على البحث عن أغذية جديدة وعلى تصنيع أطعمة محضرة مسبقاً يضع اعدادها المنسق تحت تصرف سيئي التغذية وجبة ملائمة متوازنة ورخيصة .

إن القرن العشرين قد جعل من التغذية ، في مطلع الفصل المحدود من علم الفيزيولوجيا ، علماً مستقلاً ومكرساً ، مع امتداداته المرضية : الامراض الغذائية ، والوسائل التي تحول دونها اجتماعياً ، ومن ناحية الصحة والنظافة الغذائية . لقد أصبحت الصحة الغذائية موضوع اهتمامات ثابتة لدى الحكومات والشعوب .

XI ـ علم التنفس والسل

إن أمراض التنفس منذ اكتشاف الفحص الجسدي السريري من قبل لاينيك في مطلع القرن التاسع عشر كانت موضوع تصنيف دقيق وموضوعي . ولكن في النصف الأول من القرن العشرين أتاح رسم طبيعي للرئتين المملوءتين بالهواء ، المحيطتين بقلب وبفسحة هوائية ، كثيفين ، وضع تصنيف اشعاعي أكثر فأكثر دقة . قليلة هي الأعضاء التي نمتلك اليوم حولها وسائل فحص موضوعية ودقيقة جداً مثل ما يتوفر لنا لجهة القلب والرئتين وذلك بفضل التصوير الاشعاعي وبفضل التوموغرافيا ، والفرجات التنفسية ، وتصوير الأوعية ، وتصوير القصبات ، المقرونة بالفحص بالمنظار للقصبات وللتنفس وبفضل التقنيات البكتيرية .

إن علم الامراض الوبائية الحادة التي تصيب الجهاز التنفسي معروف منذ زمن بعيد في خطوطه الكبرى ، ولكن معارفنا بهذا الشأن قد توضحت وتوسعت وتعدلت . منذ خمس وعشرين سنة كانت أمراض التنفس الحادة الوبائية تخيف بحق المرضى والأطباء : إذ كانت تهديداً جدياً

للراشد البالغ ، وخوفاً مأسوياً في أغلب الاحيان عند الطفل ، ونهاية شبه طبيعية بالنسبة إلى المسن . أما اليوم فالمعالجة السريعة توقف الكثير من هذه الامراض ، وفعالية المعالجة كاملة بحيث أن المريض يشفى أحياناً قبل أن يقوم الطبيب ببحوث استطبابية دقيقة . رقليلة هي الامراض التي غير مسارها التطوري اكتشاف المضادات الحيوية . وعلى هذا فقد نـدر الجدول الكلاسيكي حول مرض التجاويف الرئوية الحادة الصريحة التنفسية . وعلى هذا فالالتهابات القصبية الرئوية أقل عدداً وأقل خطورة من الماضي .

إن الامراض الرئـوية القيحية أصبحت أكثر نـدرة . وإذا كان الكثير من الخراجات الرئوية ، بفضل المضادات الحيوية ، قد شفي بعد مقيّىء فإن غيرها ، وخاصة الدمامل القيحية ، توشك في بعض الاحيان أن تصبح مزمنة ومستعصية لو أننا لم نمتلك اليوم ، اضافة إلى استئصال الجيب المريض أو الجزء المريض ، استطباباً جذرياً بمقدار ما يتحدد موضع المرض .

إن معرفة البكتيريا ستافيلوكوك الرئوية هي حديثة العهد (شيكرنيغ وبارك 1919 ؛ تروازيه ، باريتي وبروكارد ، 1936 ؛ بلومنتال ونوكوف ، 1946) .

إن الاصابة بهذه البكتيريا تقع في كل سن ، ولكنها تكثر عند الرضع . وهي تظهر بشكل خراج رئوي ، أو عند الاطفال بشكل مرض تنفسي حبيبي ثم تتعقد بشكل التهاب رئوي نزيفي صديدي ، أو تظهر بشكل بيو پنوموتوراكس (تقيّح رئوي) ذي خطر شديد . وقد حسنت المعالجة كثيراً بفضل المضادات الحيوية ، ولكنها تقتضي في أغلب الاحيان الدقة ، كما يجب أن تكون بآنٍ واحد عامة وموضعية ، وتتطلب أحياناً معاونة الجراح . أما الخراجات الأميبية الرئوية التي تعقب أو لا تعقب الالتهاب الكبدي الأميبي ، ليست نادرة ولا استثنائية ؛ فهي تقتضي في أغلب الاحيان الجمع بين المعالجة الطبية والتدخل الجراحي .

إن الامراض التنفسية غير النمطية تكون غالباً فيروسية وتشكل فصلاً جديداً في هذا العلم الامراضي (غالاغر Gallagher ، بوين ، 1935 ؛ كلنر ، رايمان ، 1938 ؛ فنلند ، 1945) مفتوحاً بفضل تقدم التصوير الاشعاعي وعلم الامصال وعلم الفيروسات . وإلى جانب الدور الأمراضي ، ثبت في علم تصنيف الجهاز التنفسي ، دور لا يقل أهمية ، هو دور الاضطرابات الميكانيكية في الدورة الغازية داخل الشعب أو داخل الجيوب : مرة عدم دخول الهواء ، الانهدام الرئوي أو همود الرئة ، ومرة دخول الهواء تحت الضغط ، وتمدد الجيوب أو الشعب ، أو حتى الانتفاخ الرئوي .

وإذا كان موضوع انهدام الرئة قد نوقش منذ القرن التاسع عشر ، وإذا كان و . باستور منذ 1914 قد وصف الانهدام الذي يعقب العمليات ، فإن بحوث ش . جاكسون هي التي أوضحت المسألة فعلاً : فقد بين هذا الباحث ، بصورة عيادية وتجريبية ، تكاثر الانسداد الشعبي ، ونماذجه وأسبابه ودوره الضخم في توليد أمراض الانهدام والانسداد (1917) . وبعده درس العديد من أطباء السل وأطباء الأطفال دلائل وأسباب اضطرابات التهوية الرئوية . إن الاعمال التشريحية التي قام بها لوسيان Lucien سنة 1936 حول التوبوغرافيا الشُعبية قدمت إيضاحات حول مختلف أشكال انهدام

الرئة التي لوحظت في الصور الشعاعية ، وكذلك الانقسام الرئوي امكن ترسيمه .

وهكذا تم اثبات تكاثر التهاب القصاب الضيق والاقسامي ، وحقيقة التمددات القصبية التي تعقب اضطراباً في التهوية ، وأهمية الانسدادات والضيق (الستينوز) القصبي باجسام غريبة ، وحالات امراض الغدد ، والتفاعلات الورمية ، وأهمية فهم الامراض التنفسية الحبيبية .

إن أمراض تشوهات الجهاز التنفسي هي أيضاً أكثر وضوحاً : الأكياس الرئوية الولادية ، والرئات المتكيسة المتعقدة بفعل أمراض الصدر والتنفس الفجائية والانتكاسية (كيارغارد Kjaergaard ، 1932) . وتمت معرفة مختلف التمددات القصبية الولادية أو غير الولادية ، الموضعية والعامة ، والاشتراكية (أعراض كارتاجينر Kartagener) . وبهذا الشأن لعب اكتشاف تصوير القصبات المسدودة بالدهن (سيكار Sicard وفورستييه Forestier) دوراً حاسماً .

إن الالتهاب المزمن ، الكثير الحصول نسبياً ، والذي يبدأ في العمر المبكر غالباً ، ثم المستمر طيلة العمر ، والذي يصعب تحمله غالباً ، وتمدد الشعب لم يتحسنا إلا بصورة معتدلة وعرضية بفعل المضادات الحيوية وبفعل سحب الوضع . وعندما يصبح المرض لا يطاق ، شرط أن لا تكون الاصابات كثيرة الانتشار ، فإن أفضل علاج هو الاستئصال الجيبي أو القسمي (روبنسون ، 1927 ؛ تودور Tudor ، ادواردز ، 1936) .

إن الفحص بالمنظار للشُعب والذي قام به ك . جاكسون بين أن السرطان الرئوي المسمى بالبدائي هو سرطان ينتشر من جيب إلى جيب حتى يصل إلى النسيج الرئوي . وقد أتاح هذا الفحص الرصدي تصنيف اشكاله النسيجية (نسيج مالبيجي ، خلايا صغيرة بدون شكل اسطوانية أو مكعبة) . إن التهابات الرئة بسبب الغبار ، المعدني أو النباتي أو الصواني اصبحت معروفة أكثر بفضل التصوير الاشعاعي والتشريحي (غاردنر ، 1938 ؛ بوليكارد ، 1947) .

إن معرفة السل الرئوي قد ثُوِّرت منذ خمسين سنة . في بداية القرن العشرين كانت معارفنا في هذا المجال متينة بالتأكيد : الطريقة التشريحية العيادية (لاينيك Laennec) ، الطبيعة الوبائية للمرض (ج . أ . ڤيلمين) ، اكتشاف العصية والسُلِّية (ر . كوخ Koch) ، اكتشاف الإصابة الرئوية الأساسية (ج . بارّوت Parrot) مقرونة بالتهابات في الغدد اللمفاوية التابعة . هذه الإصابة تتركز في أغلب الأحيان في الرئتين ولكنها قد تتمركز في الامعاء . من هذه الأعمال انبثق مفهوم العدوى السلية التي تحكم اجتياح السل الأساسي .

في سنة1916 لخّص رانكي Ranke دورة المرض السلي البشري بثلاث مراحل ؛ الاصابة الاولية ، ثم فترة استراحة ذات مدة مختلفة ، مقرونة أو غير مقرونة بتموضعات غير رئوية ، ومرحلة ثالثة ينمو بخلالها السل القرحي الموضعي المشترك في الرئة . هذه الرسيمة تتضمن الكثير من التناقضات ومن الثغرات فلا يمكن أن تقبل اليوم بدون تحفظ .

إن السل الرئوي في اجتياحه الاول والسل الرئوي الثالثي ، يدرسان اليوم بدقة بالغة بفضل التقنيات الاشعاعية والتوموغرافية (التصوير الطيفي) ، والفحص القصبي بالمنظار ، وبفضل

تقنيات علم البكتيريا والبيولوجيا .

نذكر بشكل خاص أهمية تحول التفاعلات التوبركولينية (ردات الفعل ضد زرع عصيات السل) من أجل تشخيص الاقتحام السلّي الأساسي ، ونذكر أيضاً أهمية التقنيات الحديثة المقرونة بردة الفعل ضد لقاح السل فوق الجلد (ك . ب . بيركت ، 1907) وكذلك ردة الفعل تحت الجلدية (الفحص بالحساسية) الذي أوجده منتوكس سنة 1910 ، ثم الانعكاس (مورو ، 1908 ؛ همبرغر) ، والسحنة السلّية (كفوري) أو « باتشتست Patch test » (ڤولمر Vollmer) .

إن فحص العصيات بالمنظار (باسيلوسكوبي) ، داخل السائل المحصول عليه ، بفعل السحب الانبوبي من المعدة الصائمة (مونيه وبرتيرود) هو اليوم التقنية الأكثر استعمالاً . وقد أوضح ل . برنار ، ود . دوبريه ، وم . لولونغ انماط العدوى داخل الوسط العائلي ، وعرّفوا أهمية الحقبة السابقة على الحساسية . وقد ركز ولغرين على هذا المظهر الخاص جداً في المرحلة السابقة على الاصابة السلية والتي هي الطفح العقدي .

وخلال المرحلة الرئوية السلية الاساسية من المعروف أهمية الفحص الشعاعي الغددي الرئوي ، واضطرابات التهوئة بفعل الاصابة أو بفعل الضغط القصبي ، وكثرة الشق العقدي القصبي (دوفور ومونيه ـ كوهن) .

إن معنى السل المتشعب ، ردات فعل رئوية محيطة ، قد أصبح يدرس من زاوية انتقادية جديدة ، خاصة بعد أن ثبت تكاثر الاصابات القصبية (روسل Rossle 1936 ؛ سيلر 1940 ؛ أ . جونس ، ت . رافرتي ، وهـ . س . ويليس ، 1942 ؛ ومس غراهام ؛ وهوتشينسون Hutchinson ، 1947) . كل هذه الاعمال تشكل مفتاح مفهوم الاجتياح السلي البشري ، والذي يعتبر السل فيه (فتيزي) إستبقاظاً بعيداً .

هذا السل الاساسي يمكن أن يرصد في كل سن عند البالغ كما عند الطفل . ويوشك أن يكون مرعباً عند الاطفال الرضع الذين يتعرضون للعدوى بشكل مكثف . إن العصية تتسرب عادة إلى الجسم عن طريق الهواء . ويلعب سل الحيوانات المجترة دوراً ضيقاً في علم تشخيص الامراض البشرية ، ولكن القضاء على المرض في الحيوانات يقلص تكاثر المرض البشري (جنسن Jensen) . ولا حاجة إلى القول أن هذا المشهد يتغير بشكل فريد ، والتطور يكون إلى الاحسن ، بعد تفادي التعقيدات بفضل استعمال المضادات الحيوية وبفضل الاستطباب الكيميائي ، ومن المسلّم به اليوم وجود معالجة كل إصابة في بدايتها بعناية ، حتى ولو لم توجد إشارات عيادية وصورية اشعاعية .

أما السل العصبي المتميز بانتشار الاصابات الدقيقة العقدية فقد كان موضوع دراسات مهمة .

لقد بيّن آشوف ومدرسته ، ليتول وبيزنسون (1922) هويشمان وأرنولد (1924) أن الحبيبات والبذرات العصبية لا تتعارض لا في أصلها ولا في توبوغرافيتها ، ولا في بنيتها ، ولكنها لا تمثل إلا

إصابة واحدة ، على مرحلتين مختلفتين ، ردة فعل خاصة جدارية حويصلية . إلى جانب السل الحاد، وصف ر . بورنان Burnand وسايه Sayé سنة1924 حالات السل البارد . إنّ الالتهابات الجلدية المولدة للدم والتي تعقد في أغلب الاحيان الهجوم السلي ، توشك أن تنتشر وتنتهي إلى التهاب السحايا السلّي : وقد درست لحسن الحظ في السنوات الأخيرة نظراً لأنها حماسة للغاية ضد الاستطبابات الجديدة المكافحة للسل ، كما أيضاً لالتهاب السحايا السلي بالذات .

وفي مرحلة السل الرئوي الثالثي درست المتسربات الكروية تحت الترقوة المبكرة التي اكتشفها أسمان (1922) ، وريديكر (1926) ، كما درست البُؤر فوق الترقوة المبكرة التي اكتشفها سيمون (1926) ، والاصابات المنقوبة ، وكثير من التركيزات الاخرى . وقد درست بصورة جيدة حتى أن تشخيصها التوبوغرافي والتجويفي والانقسامي قد أصبح واضحاً وضوحاً مدهشاً بفضل الصور الطبقية في الوجه وفي الجانب .

ولكن التعابير التشريحية العيادية حول السل الرئوي قد تغيرت كثيراً في أيامنا ، فالقطع العملياتية حلت محل القطع التشريحية ، وأتاحت عمليات الاستئصال الآن تفحص ، ليس فقط ظاهرات الانتشار المرضي بل أيضاً عمليات التفاعلات التراجعية والشفائية .

إن السل الرئوي (الذي وصفه لأول مرة جاكوبوس Jacobaeus وراي Rey سنة1921) قد أصبح مراقباً بشكل شائع . وعلى أثر المعالجات الكيميائية للتجويفات السلبية ، نلاحظ الآن وجود جيوب ملتئمة ليفية مطهرة ، حبيبة وتكيّسات ، وتراجعات مهمة أو التئامات حقيقية (كانتي ، 1954) .

إن الملاحظات الكثيرة التي صدرت بشأن الاصابات السلية ، وذات التموضعات المتنوعة والمختلفة ، بعد الاستطباب الكيميائي ، تثبت الملاحظات التي تؤخذ من دراسة الاصابات الرئوية الثالثية مثل : التئام الاصابات الرئوية التي اجتاحها السل ، فاختلفت وبرزت مع تراجع أقل بروزاً في أمراض الغدد (ماهون وريتشي ، دوبريه وغرومباك ، 1955) ، تقلص ظاهرات التعرق والاحتقان ، التعديل الليفي في الاصابات السلية التي تصيب غدد المفاصل ، والنسيج الكليوي والمجرى البولي التناسلي ، تغييرات مدهشة في الاصابات الدماغية والسحائية ، في الحالات السيئة من التهاب السحايا السلّي ، عندما يتأخر الموت فقط (دوبريه ، ثيفري وبريسود) .

إن مظهرية السل الرئوي الثالثي، قد تغيرت كثيراً منذ عدة سنوات . فالفحوص المنهجية في المجموعات ، الراديكوسكوبي ، الراديوغرافي ، الراديو فوتوغرافي ، تتيح تعقب السل في مرحلته الكمونية قبل أن تظهر إشاراته العيادية : الكمون ، الخطورة ، العدوى المرضية ، كل ذلك يبرز تماماً هذا الجهد الطبي الاجتماعي . وهكذا يتم التثبت من الاصابات التي ما تزال مستترة وموضعية ، ومثابة وحماسة تجاه الاستطباب .

لقد ولى زمن لم يكن فيه باليد ضد السل الرئوي إلا الراحة ، وبالنسبة إلى الاشكال الوحيدة الطرف لم يكن إلا التنفس الصدري الاصطناعي ، وهو تقنية اكتشفها فورلانيني Forlanini سنة 1888 ، وحسنها جاكوبوس الذي وضع سنة1916 « التنظر الباطني » الغشائي ، وحقق قطع

الملتصقات الغشائية مما كبح فعالية الوهن أو الاسترخاء ، وهدد تسهيل إنسكاب الماء الغشائي والانثقاب الغشائي الرئوي . أما اليوم فتتيح الأدوية الجديدة ضد السل شفاء عدد كبير من المرضى شرط السكون المطلق ولمدة طويلة . أما المرضى الأكثر خطورة في إصابتهم فإنّ طرق المعالجة هذه تتيح بفضل تحسين الحالة العامة والموضعية اللجوء بأقل ما يمكن من الاخطار إلى طرق المعالجة الاسترخائية والجراحية . إن الاستطباب بالمضادات الحيوية قد أغنى عن تنفيذ عملية تغيير في التجويف الصدري (تورا كوبلاستي) وفتح الطريق ، ضمن شروط ضمانية شبه شاملة ، أمام عمليات الاستئصال الحالية .

ولكن إذا كان الموت بالسل الرئوي قد خف كثيراً فإن المرض بالسل ما يزال مرتفعاً ، خاصة في فرنسا على الاقل . فالكثير من الافراد يتهربون من الفحص بصورة دورية ، والكثير من المرضى يعتبرون مرضهم تافهاً ، ويطمئنون اطمئناناً مطلقاً إلى فعالية الأدوية الجديدة فيعودون إلى نشاطهم باندفاعة خطرة ، قبل الشفاء ، فينتكسون ، ويعودون من جديد ليصبحوا مسلولين مزمنين ينشرون المرض في محيطهم .

XII ـ علم الأعصاب وعلم النفس المرضي

نهضة النرولوجيا أو علم الأعصاب العيادي ـ إن النرولوجيا أو علم الأعصاب العيادي قد تكون بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر . وقد عرف في هذه الحقبة نهضة حاسمة بفضل الاعمال الفرنسية التي قام بها شاركوه Charcot وديجيرين Dejérine ، وبيار ماري وبابنسكي . وبخلال السنوات الخمسين الأخيرة اغتنى بشكل فريد بتطبيق اساليب الاستكشاف الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية ، وبتقنيات نروفيولوجية ، ودراسات وراثية .

وشاهد النصف الاول من القرن العشرين ولادة وتطور علم الدلالة ، وتشخيص الاصابات العصبية الجراحية في الدماغ وفي الحبل الشوكي ، بفضل أعمال و . أ . داندي ، بنفيلد وغرومس ، هـ . و . كوشنغ ، ب ، بيلي ، في الولايات المتحدة ، و . ماسيوين وف . هورسلي في انكلترا ، كلوفيس ڤانسان وت . دي مارتيل في فرنسا . ولا تطرح دراسة الأورام الدماغية اليوم مسائل لا حلّ لها ، لأن المعالجة العصبية الجراحية ، قد حولت لحسن الحظ مستقبل الكثير من المرضى .

إن علم الامراض الوعائية الدماغية أصبح هو أيضاً معروفاً بصورة أفضل .

إن البحوث التشريحية العيادية التي قام بها فوا Foix وتلاميذه (1923-1927) قد اثبتت بوضوح تام الوعائية الدماغية . ولكن التسجيلات الشريانية الدماغية قد فتحت فصلاً جديداً في علم الامراض فعرفت بحالات التنفخ في جدار الشريان والاورام الوعائية وغيرها من الاورام الوعائية الدماغية (أ . ڤون هيبل von Hippel ، وليندو Lindau وستورج Sturge وفيبر Weber وكراب Krabbe) ، وذلك بتبيين إن الكثير من النزوف السحائي يعود إلى تشويهات وعائية دماغية . إن

تشخيص عدد التشكلات الجديدة داخل الدماغ قد استعان بشكل غريب وتوضّح بفضل الرسم الشرياني الدماغي .

الصـرع أو داء النقطة ـ إنّ المسألة الصعبة جداً حول طبيعة وحول أسباب داء الصرع قد تحولت وتغيرت في حالات تتكاثر ، وذلك بفضل المعلومات التي قدمتها التقنيات الحديثة وبصورة خاصة التصوير الكهربائي للدماغ (الكترو ـ انسفالو ـ غرافي) .

إن الصرع المسمّى الصرع الاساسي والذي كان يعتبر لسنين مضت كنوع من العصاب يعرف اليوم بأنه اضطراب خصوصي في الوتائر الكهربائية في الدماغ . اضطراب يتيح التثبت منه ربطه بنفس المرض ، ذي الاشكال الكامنة ، الخفية ، ثم تتبع تغيراته تحت تأثير الاستطباب المقرر (جيبس ولينوكس ؛ 1936 ؛ جاسبر وكرشمان ، 1949) . إن تقنية التصوير الكهربائي للدماغ (الكترو انسفالو غرافيك) تتيح اليوم تعريف الأشكال الخاصة للمرض ، كما هو حاصل بالنسبة إلى أي وجع بسيط (بنفيلد Penfield) ، والأشكال المتموضعة والمتحركة ، والأشكال التي قال بها برافي وجاكسون ، والاشكال الحسية والصدغية (جيبس ـ بنفيلد) .

التهاب الدماغ ـ في مجال التهابات الدماغ المرتبطة بتفاعلية وبائية ، قدمت معرفة الاعراض العيادية ، والوبائية ، والانتشار بواسطة الحيوانات الاليفة خاصة مثل الحصان والكلب والخروف ، ووجود مضيفات وسيطة كخزانات الفيروسات بين الحشرات ، وأخيراً معرفة بعض الفيروسات ، كل ذلك قدم الكثير من العناصر الجديدة للطب .

إن التهاب الدماغ النوّام ظهر سنة1915 في رومانيا ثم في فرنسا . ودرس في فيينا من قبل (ك . ايكونومو) فحمل اسمه . ودرسه في فرنسا كروشيه وأ . نيتر . وحتى سنة1926 ظهرت أوبئة في مختلف اجزاء العالم ثم اختفي المرض بشكل غامض . ولم يكتشف أي فيروس خاص . والجدول العيادي الخاص جداً ، والعلاقة مع الحازوقة الوبائية ، وأمراض العضلات (ميوكلوني) ، والبقايا المسمّاة (باركينسونيه) ، والبقايا الودّية والنفسانية ، أثارت كلها اهتمام الاطباء وثقّفتهم . من هذا المرض الخاص جداً ، قرّب التهاب الدماغ الذي أصاب (سان لويس) ـ وباء 1932 ـ حين قام (ماكنفوس) وباحثون آخرون سنة1933 فعزلوا فيروساً ؛ وناقل هذا المرض هو من بين ناقلات أخرى بعض الذباب المسمى (كولكس) . إن الالتهاب الدماغي الياباني الذي أصيب به عدّة أشخاص يعزى إلى فيروس ، وقد درسه (هاياشي) سنة1934 وكازاهارا وكاوامورا سنة 1936 ؛ نذكر أيضاً التهاب الدماغ الاسترالي والتهاب الدماغ الشوكي الخيلي الذي يصيب الانسان والتهاب الدماغ الربيعي الروسي ، والتهاب غشاء السحايا المسمّى التهاب أرمسترونغ (1934) ، الخ .

إلى هذا الفصل يضاف التهاب السحايا الذي يعقب الأمراض الوبائية المشتركة مثل الحصبة والحُمَيراء وجُدَري الماء ، وخاصة التهاب الدماغ الذي يعقب التلقيح الذي يعتبر بحق موضوع اهتمام ودراسات ، وموضوع العديد من الفَرضيات حول توليد الامراض .

الكساح ـ من بين كل الامراض ذات الانتحاء العصبي (ليفاديتي 1929) ، المرض الذي

أثار الاهتمام هو الكساح الداخلي الحاد والوبائي أو ما يسمّى شلل الاطفال أو مرض (هين ـ مدين) . عُرف هذا المرض بدراسات أساسية من القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر (هين . 1840 ؛ مدين 1890) ، وقد دُرست وبائيته في السويد (ويكمان ، 1907) وتلقيح القرد الذي جرى في فيينا سنة (1909) من قبل لاندستينر Landsteiner وبوبر Popper (1909) ومعرفة الجسم المضاد في المصل (نيتر وليفاديتي في باريس) ، وزراعة الفيروس فوق نسيج (هـ . ف . آندرز ، مع ف . روبنس وت . ويللر في بوسطن ، 1948) ، وصنع الطعوم (سالك ، سابين Salk- Sabin في الولايات المتحدة) والطرق العلاجية (الرِّئة الفولاذية وأجهزة التنفس) كل ذلك يدل على المراحل الرئيسية في الاكتشافات . ونحن هنا نقف عند العناصر التاريخية الرئيسية في علم الاسباب والاعراض العيادية .

وقد دُرست طويلاً الصفات الفيزيائية والكيميائية للفيروس .

وهناك نقطة أساسية هي التفريق بحسب الانماط (د . بوديان D. Bodian ، 1949 . . . الخ) المسمّاة اليوم أنماط III, II, I ، ولا تسمّى باسماء برون هايلد ، لانسنغ وليون (1951) . يضاف إلى هذه الدراسات الاولية دراسات اكتشفت فيروسات قريبة قادرة على تحديد أمراض الشلل وربّما قادرة على الاتحاد بفيروس الشلل (فيروس كوكس ـ ساكي Coxsackie ، ج . دالدورف Dalldorf ، 1948) والتي توزّعت إلى عدّة أنماط تحدد عموماً خناقاً وبائياً خاصاً (هربانجين أو الحلاء الوعائي) وأزمات صمائية عارضة ، وكشوحات ، ووجع العضلات المذكّر بمرض بورنهولم Bornholm ، والتهاب السحايا « التعقيمي » الذي يشبه الالتهاب الذي يحدثه فيروس شلل الاطفال (فينلاي Finlay ، 1950 ، ملنيك Melnik ، 1951 ، الخ) .

إن علم الأوبئة المتعلّق بشلل الاطفال كان موضوع دراسات فائقة العناية في كل الكرة الأرضية . فالاكتشاف المدهش الذي حقّقه اندرز Enders وروبنس Robbins وويللر Weller قد أتاح القيام بملايين عمليات عزل الفيروسات وبالتالي تحديد هويتها ، وبذات الوقت إن القدرة على التحييد التي تتمتع بها الامصال من مختلف الأنماط مكنت من القيام بهذه الدراسات دون الرجوع إلى اعطائها للقرد إنما باستخدام الزراعات على الأنسجة الحيّة وهكذا جرى تبيين انتشار الفيروس في مناطق قليلة السكن ، وكذلك استمرار الأجسام المضادة لدى قدامى المرضى لمدّة سنوات طويلة ، والأهمية الخاصة والتبكيرية (عند الرُّضع والطفل الصغير) في الايباء (من وباء) غير الظاهر خاصة في البلدان الحارة والعدوى المتعاقبة في أعضاء نفس المجموعة البشرية وندرة الأمراض الشللية نسبة إلى ضخامة عدد حاملي الجرثومة ووجود الفيروس في الحرقوة (مرة من أصل اثنين لدى المرضى) وفي البراز (بشكل دائم) . وما تزال المناقشات مفتوحة حول أسلوب الانتشار عن طريق الأنف (الفيروس المحمول بالهواء مثل فيروس الحصبة) وعن طريق المعدة (الفيروس المحمول باليدّ أو العدوى الغذائية) . إن الظهور المفاجىء والمأساوي للأوبئة الكثيفة أو للبؤر الوبائية الواسعة الانتشار ما يزال غامضاً .

لقد تقدّمت العيادة أيضاً بفضل الملاحظات المعاصرة : مدة الحضانة ، أساليب البدء ،

إشارات دماغية ، أهمية الاوجاع الاساسية ، سمة السائل الرأسي السيسائي ، تكاثر اشكال عليا مع مختلف أنماط الاضطرابات التنفسيَّة (ر . دوبريه وس . ثيفري Thieffry) . إن أهمية الاشكال في التهاب السحايا غير الشللي (آ . نيتر A. Netter) وسماتها قد توضَّحت .

إلى جانب هذه المجموعة المرضية تقع حالات الشلل الدماغي وخاصة الالتهابات العصبية المتعدِّدة الفروع (بولي ـ راديكولو ـ نفريت) المنتشرة (غيلاًن ـ بارّي 1917) . ويدخل في هذه المجموعة أيضاً مجمل حالات التهاب الكريضات الدماغية وفيها يقترن التهاب النخاع الشوكي بالنخر (ميلو نكروز) أحياناً بردَّة فعل التهابية وذلك مثلاً في حالات النشاف أو التصلب الشريحي الحاد (ماربورغ ، 1904) ، والتهاب الاعصاب البصرية (ديفيك 1894) ، ومرض شلدر ـ فوا (1925) والتهاب الكريضات الدماغية المقرونة بالنشاف تحت الحاد الذي قال به فان بوغارت سنة1943 ذي المؤشرات الخاصة جداً . وإذا بقي تاريخ التهاب الدماغ والنخاع الشوكي مليئاً بالغوامض على صُعُد كثيرة ، يصح الاعتقاد بأن التطور المستقبلي في علم الفيروسات ، والتبادل الايضي سيوضِّح هذا الفصل الذي لا يزال غامضاً في علم الاعصاب .

الاستقصاءات البيوفيزيائية والبيوكيميائية ـ إن الاستقصاءات المتعلِّقة بالرسم الكهربائي للدماغ قد تعقدَّت ، ليس فقط من كثرة فائقة في المجسّات (الالكترونية) الكاشفة للسطح ، ولكن أيضاً بفضل تقنيات التحليل التفاضلي والعد الاوتوماتيكي ، والربط الآلي والمعاينة البصرية للرسيمة المكشافية (توبوسكوبي) والتحريكات العميقة الموجَّهة بواسطة المجس الخارجي المضخم ، إلى درجة إن البيوفيزيائيين توصلوا ، بفضل هذا التقدم إلى اقتراح تفسير كهربائي لكل العمل العصبي والعقلي . ويشبه ر . لورينت دي نو.Lorente de No ، و . س . ماك كولوش Mac Culloch ، و . ر . اشبي وغراي والتر (1950) ، وهم الدعاة إلى السيبرنيتية الجريئة ، يشبهون المراكز العصبية بدارات كهربائية ذات تحكم ذاتي صنعوها بشكل انسان آلي أو روبو . وشبهوا أيضاً انقطاع التيار ، والتوقف ، والإطاعة والعصيان في هذه الأواليات ذات التحكم الذاتي ، في مواجهة الإشارة التي تحكمها ، شبهوها بالاضطرابات العصبية في الدماغ البشري بل وبحالات العصاب التجريبية التحكمية .

في حين حاول البيوفيزيائيون تقديم تفسير كهربائي للسائل العصبي ، بيَّن علماء البيوكيمياء بوضوح دور الإرباكات في الوسائط الكيميائية ، في مجال علم الامراض الدماغية والعقلية . وفتحت الوراثة ، الثقيلة الوطأة في الباثولوجيا العصبية ، بعض هذه المسائل الغامضة .

سنة1934 افرد فولنغ Folling نمطاً من أنماط التخلف العقلي ، مرتبطاً باضطراب موروث داخل أيض الفينيلا لانين . إن التقدم في الكيمياء الهورمونية يوضح بعض حالات الذهان الصمائي مثل ذهان هورمون المبيض المفرط أو النفاسي . وبدت الدراسة البيوكيميائية للاصابات العضلية مليئة بالوعود بعد أن أثبتت قلة في معدل اللحمين (كرياتين) والمركبات الفوسفورية ، في حالات التهاب العضلات وتقلصها (شابيرا Schapira ، 1949) . ألا يدل الاختبار بواسطة البروستيغنين ، على وجود أثر صيدلاني ديناميكي خاص وحاسم ، عند مستوى الاتصال العضلي ، يعيِّر

ويهدّىء ، في بعض لحظات ، التقلص العضلي المرتبك بشكل خطر في حالة العضال أو الوهن الشديد ؟ إن مقدار ميليغرام ونصف من البروستغنين ، المزروق عبر العضل ، يزيل تماماً الشلل الكاذب الذي يعتري العضلات (م . ب . ووكر Walker ، فياتس Viets) .

إن الطرق البيوفيزيائية والبيوكيميائية أصبحت ثمينة فيما خص الاستكشاف العصبي النورولوجي ، والاستشكاف الطبي النفسي .

نهضة الطب النفسي (بسيكياتري) - إن التطور العلمي للطب النفسي لا ينفصل ، على الاقل في فرنسا ، عن عمل ت . ريبوت Ribot الذي طبع بالعقلية التجريبية مدرسة كاملة من مدارس علماء النفس والاطباء منهم أ . بينيه Binet وپ . جانيت Janet (1859 -1946) ، ج . دوماس Dumas وش . بلوندل Blondel .

إن الاكتساب الرئيسي للطب النفسي قد قام على نقل مسألة اللاوعي ، إلى الصعيد السيكولوجي ثم معالجته بالطرق التجريبية ، وذلك ، وإلى حد بعيد بفضل أعمال ج . م . شاركوه Charcot (1825 -1893) ومدرسة سالبيتريير Salpêtrière حول الهستيريا ، وهي أعمال أتاحت تطوير التنويم المغناطيسي ، والتعرّف على التحليل النفسي .

وانطلاقاً من هذه الأعمال اكتشف سيغموند فرويد (1856 -1939) نشاطية اللاوعي وانشاء منهج المعالجة بواسطة التحليل النفسي . وبين أهمية اللاوعي في الحياة النفسانية عموماً ، ثم العلامات الهستيرية ، وبصورة تدريجية في حالات العصاب والذهان . ويرى إن قوى اللاوعي تقوم بآنٍ واحد على القوة الشهوانية الجنسية وعلى كل الغرائز التي تنتظم في تعقيدات متميزة .

وقد لعب فرويد Freud ومدرسته ، بعد اكتشاف أهمية اللاوعي في تكوين العصاب ، دوراً أساسياً في فهم الكائن البشري ونفسيته . إن بعض نظريات فرويد قد أعيد النظر بها من قبل تلامذته : ومنهم أ . آدلر الذي ركز على مشاعر الضعة والتعويض عنها ؛ ومنهم ك . ج . يونغ Jung الذي أبرز قيمة اللاوعي الجماعي وأهمية العوامل الثقافية في المسائل النفسية .

وباستكشاف دور اللاوعي في الحياة النفسانية أصبح التحليل النفسي بصورة تدريجية شجرة معرفة تطلق فروعها في كل النشاطات الفكرية ؛ وهناك طرق أخرى غير التحليل النفسي تستعمل في مجال علم النفس والأمراض : مثل الطرق الظاهراتية (ك . جاسبرس Jaspers) ؛ أعمال المدرسة الارتكاسية (علم الانعكاسات ، ي . پ . بافلوف Pavlov) مع التركيز على العناصر السيكولوجية في العصاب ، إنما انطلاقاً من أواليات تداعياتية خالصة .

وبخلال السنوات الاخيرة اتجهت البحوث نحو العوامل الاجتماعية في العصاب كتعبير عن صراع بين ميول الفرد والاكراهات التي تفرضها المجموعة (مالينوفسكي Malinovski ؛ م . ميد) .

الطب النفسي عند الطفل - هذا المجال العلمي الذي بدأ حقاً في مطلع القرن العشرين ، يلامس طب الاطفال ، وعلم النفس وعلم الاعصاب كما يقارب علم الاجتماع وعلم التربية .

إن الطبيب النفسي للاطفال قد يضطر ليس فقط إلى معالجة مرض عقلي ، بل أكثر من ذلك

يتوجب عليه أن يتابع التطور المحرك ، العقلي والعاطفي عند الطفل . وعليه أن يساعد بنصائحه الاهل والمربين . ولهذه الغاية يتوجب عليه دائماً أن ينظر إلى الولد في علاقاته الانسانية .

لقد وضع أ . بينيه Binet وت . سيمون Simon سنة1905 سلسلة من الاسئلة يجب حلها . وكانت أولى « الاختبارات » التي سوف توضح مستوى الذكاء عند الطفل .

تستكشف هذه الاختبارات قوة الحكم ، والذاكرة والانتباه في مختلف الاعمار . في بادىء الامر اقتصرت هذه الاختبارات على تعداد الاطفال الذين لا يستطيعون متابعة الوتيرة المدرسية العادية . وتفرعت عن هذه الاختبارات طرق عدة حاولت استكشاف مستوى الذكاء ومنها اختبارات ترمان ، واختبارات وشلر ـ بلفو Wechsler- Bellevue ، واختبارات ترمن ـ ميريل Terman- Merill ، وبينيه ـ سيمون ، وصحّحها زازو Zazzo سنة 1946، الخ . هذه الاختبارات التي تتيح يومياً المساعدة على توضيح ذكاء الطفل وشكله ،الملموس أو المجرّد ، ثم زخم قدرته على الانتباه ، هذه الاختبارات تقدم خدمات كبيرة في المسائل المدرسية مثلاً . وهناك طرق أخرى استكشافية أكثر ميلاً إلى التحليل ، تتيح تقدير الكفاءات عند الطفل وعند المراهق إضافة إلى معرفة مستواه . إنها اختبارات عديدة تستعملها مراكز التوجيه المهني .

وبعد أعمال بينيه وسيمون قام أ . جيزل Gesell في الولايات المتحدة بدراسة نمو الطفل بخلال السنوات الثلاث الاولى . وهذه الدراسات قام بها جيزل في يال (نيرهافن) ، خلال عشرين سنة ، واضعاً الطفل أمام أشياء بسيطة مثل المكعبات والطابات ، ودرس أيضاً تحركه وادراكاته البصرية واللمسية وامساكه الاشياء وهكذا تم وضع اختبارات تتيح بشكل خاص تقديراً أفضل للنمو الحركي والنفسي والحسي عند الطفل .

وعلى موازاة هذه الدراسات تم درس الطفل من حيث سلوكه .

في فرنسا كان هوييه أول من درس سلوك الطفل ، من حيث مظهره الاجتماعي أولاً . فعند دراسة الجنوح الطفولي ، تحول الاهتمام بسرعة كبيرة نحو الطفل بمجموعه ، في حياته العائلية والاجتماعية والعاطفية .

لقد درست الوضعية العاطفية عند الطفل بشكل خاص من قبل المدرسة التحليلية النفسانية ومن قبل تلامذة فرويد . وأجري العديد من الاعمال حول نقص عناية الأم ، والتخلي العاطفي عند الطفل في السنوات الأولى (1949 -1950) : وقام ر . سبيتس Spits في الولايات المتحدة بدراسة الاستشفائية ، ودرستها آنا فرويد وبولبي Bowlby في لندن . وقامت مدام اوبري Aubry في فرنسا بدراسة نتائج التخلي العاطفي ، وأثر الوضع في المستشفى ، وأثر الأمراض عند الطفل بخلال سنواته الأولى . وبين الجميع كم للحفز العاطفي من قبل الام من قيمة فريدة لا يستعاض عنها بشيء . وكان لهذه الدراسات قيمة عملية كبيرة جداً إذ قد غيرت كثيراً من مظاهر الصحة العقلية في مآوى الاطفال والمجمعات التي تحضن الصغار جداً .

وعولجت المسائل العاطفية عند الأطفال من قبل كل مدرسة التحليل النفسي .

وفي لندن كانت آنـا فرويـد وم . كلين Klein رئيستي المدرستين الأكثـر أهمية . وقـد برزت م . كلين بمعرفة الهلوسات الاولى أو الاستيهامات عند الرضع (الخـوف من التقطيـع والخوف من الابتلاع) وقدّمت كلين مشاركة مهمة في معرفة العاطفية في السنوات الاولى .

وقـام ج . غاردنـر ومـز رانـك ، ول . ديسپرت Despert وكـل مـدرسـة التحليـل الاميـركيـة بتحليل سلوك الطفل العُصابي والمصـاب بالـذهان . وقـام پ . مال Male وس . ليبـوڤيسي ور . دياتكين Diatkine وج . فاڤرو Favreau بدراسات حول الحياة العاطفية عند الـولد ، واستيهـاماتـه . وكـل هذه المقـدمات أتـاحت فهماً أفضـل للصراع الـذي يمكن أن يولـد الاضـطرابـات السلوكيـة والاضطرابات الوظيفية .

إن الطب الجسدي النفسي كان دائماً أحد الاهتمامـات الأسـاسيـة في طب الاطفال . وطبيب الاطفال أكثر من أي طبيب آخر عليه أن يتابع تـطور الطفـل أكثر من أي شخص آخـر . فهو يعـرف حالات عدم الانسجام في نموه ، والتي هي في أكثر الاحيان مصدر مؤشرات وأعراض . وهو أكثـر من أي طبيـب آخر عليه أن يتتبع الطفل في علاقاته العاطفية والعائلية والمدرسية .

إن اضـطرابات الشهيـة مثل فقـد شهيـة الـطعـام ، والاستفـراغ ، والشـراهـة ، والـزحـار ، والاضـطرابات في النـوم ، وسلس البـول ، كلهـا مؤشرات يتـوجب على طبيب الاطفـال أن يعـطي نصائح يومية للامهات بشأنها ، إذ لها في نظره أثر واضح في الصراع العاطفي . وطبيب الاطفال هو الذي يعرف أيضاً كيف يقف الموقف المناسب في حال اجراء عملية جراحية تتنـاول عائقـاً ولادياً أو مرضاً مكتسباً مثل شلل الاطفال ، بحيث يتم تفادي الصدمة العاطفية . درس ر . دوبريه مـع پ . مـوتزيكـوناتشي Mozziconacci ، وج . ج . الـواتـو وأ . دوميـك اضطرابـات الشهية (1950) ثم اضطرابات النوم سنة (1959) .

الحياة المدرسية ـ إن الطبيب النفسي للطفل في القرن العشـرين يهتم كثيراً بمشـاكل الـطفل في الحياة المدرسيـة . لقد أتـاحت الاضطرابـات المتعلقة بـالسيطرة (الارتبـاك الثقيل والخفيف) المقرونة إلى حدٍ مـا باضـطرابات حـركية ، واضـطرابات حـول تصور الفضـاء ، أتاحت التثبت من بعض الصعوبات المدرسية مثل عسر القـراءة والفهم ، وصعوبـة تعلم الاملاء . هنـاك مراكـز إعادة تأهيل واستلحاق مدرسية ، قد فُتحت لهذه الغايـة في فرنسـا ، وهي ذات ارتباط بـالتعليم الابتدائي والثانوي (مركز كلود بـرنار ، 1948 : مـركز التعليم التمهيـدي : ك . لوني Launay 1950) ؛ وقـد حاولوا أن يتلافوا المشاكل السيكولوجية والعاطفية المكتشفة في المرحلة الدراسية .

إن الاهتمام الضخم الموجّه نحو الطفل بخـلال القرن العشـرين قد انعكس في عـدد مراكـز التوجيه التي تتيح مساعدة الطفل في قضاياه العائلية والاجتماعيـة . وأكثر من ذلـك أيضاً ان التـربية السيكولوجية للجمهور الواسع هي التي كانت إحدى غـايات المـدارس النفسانيـة الطبية التي تهتم بـالطفـولة . لقـد ساهمت حلقـات الاهل في بعض الاجتمـاعات الاستشـارية في المستشفيـات ، ومدرسة الاهـل ، والعديـد من المحاضـرات والافلام ، كـل ذلك سـاعد في جعـل المربين يعـون المسـائل السيكولوجية عند الطفل .

XIII ـ الأمراض الوبائية

بعد الاشارة إلى التقدم في معرفة الأمراض الڤيروسية ذات الانتحاء العصبي نذكر الانجازات التي تهتم ببعض الأمراض الوبائية . فمنذ أواخر القرن التاسع عشر كان علم البكتيريا ، الذي ولد من أكتشافات باستور ، قد نشأ وترعرع . وتكفي الاشارة إلى التحسينات المكتسبة حديثاً في هذا المجال . ان التقدم الضخم في مجال علم الفيروسات يعطي هذا العلم مكانة مستقبلية بين العلوم الطبية نظراً لأن اكتشافات الامراض الفيروسية وتحديدها قد بدأت مسيرتها . سنة 1914 بيَّن شوتمولر Schottmuller ان حالة التعفن الخمجي ليست مرتبطة بانتشار ميكروبي في الدم ، بل تنتج عن هجرة ، دائمة أو متقطعة ، تقوم بها ميكروبات تتجدَّد دائماً ، وتأتي من بؤرة تعفنية . هذه البؤرة الأولى ، غالباً ما تكون متمركزة داخل وريد ، ويمكن أن تتمركز داخل مصراع قلبي أو فوق غشاء شرياني أو عقدة لمفاوية .

وأتاحت أعمال ت . ر . براون (1915) تصنيفاً للمكورات العقدية ، مرتكزة على تغيرات في أوساط الدم ؛ وتوصلت أعمال ر . ك . لنسيفيلد Lancefield (1928) وأعمال ف . غريفيث (1926-1935) بعد الدراسة المولِّدة المضادة للجراثيم ، إلى تعريف وتحديد أنماط المكورات العقدية المختلفة التي تتسبب بانحلال الدم .

ومن بين المكورات العقدية التي تحل الدم هناك المجموعة A وهي الأكثر انتشاراً في مجال الأمراض ، وقد تمّ اكتشاف أربعين نمطاً نهائياً ، صنفت ورتبت . ومن بين المكونات العديدة المنتشرة ، بالنسبة إلى الجرثومة ، وصف أ . و . تود ، سنة 1939 (الستربتوليزين O) ؛ ودرس الانعكاسات المناعية في الجسم الموبوء وعزل المضادات المناوئة للبكتيريا المنجولة ومنها المضاد للستربتوليزين O ، وقدم تقنية لتعيير هذه المادة ، تقنية ذات أهمية كبيرة من الناحية العملية وتطبق يومياً في العيادة .

إن أعمال ج . ف . ديك Dick . وج . ر . ديك (1924- 1925) تدلّ على إن الحمى القرمزية هي خناق تحدثه جرثومة تنتج سماً مولداً للاحمرار عند المريض الحساس . وقد تأكدت هذه الاعمال سنة 1942 على يد أ . هـ . ستوك الذي عزل بواسطة مرشحات مكورات عقدية قرمزية ، سُماً بروتينياً يشبه ظاهرياً المادة المولدة للاحمرار (مادة الحمى القرمزية) .

إن المعطيات المتعلقة بالمناعة ، والدراسات الوبائية (ر . م . الواتر Alwater ، 1927 ؛ وم . ج . ولسن ، 1935- 1940 ؛ وج . ر . بول ، 1943) قررت ان الاصابة بالمكورات العقدية التي تحل الدم من فئة A تلعب دوراً مطلقاً غير منازع فيه ، في حالات الروماتيزم المفصلي الحاد (م . ماكارتي ، 1956) . ويبدو ان الروماتيزم هو الترجمة العيادية لحساسية مفرطة ضد المكورة العقدية الموجودة بصورة دائمة في الجسم ، والتي تلعب بشكل مستمر دورها كمولد للمضادات .

إلى هذه الحجج المختلفة ، قدمت فعالية المعالجة الواقية من الروماتيزم ، برهاناً حاسماً : فقد ثبت فعلاً ان استعمال الادوية الوقائية المضادة للبكتيريا ، البنسلين بصورة أساسية ، يستبق

النكسة ، وان معالجة الدغام أو التهاب البلعوم العقدي بواسطة المضادات الحيوية قادرة على منع ظهور الروماتيزم المفصلي الحاد (م . فر . همبرغر وهـ . م . ليمون 1946 ؛ ب . ف . موسيل ، 1946- 1948 ؛ ج . و . هوفر 1949 ؛ و . الياس ، أ . هـ . برايس Price وهـ . ميريان ، 1951 ؛ پ . موتزيكوناتشي ، 1957) .

إن الفعالية الشفائية والوقائية التي يتمتع بها البنسلين ضد الحمى القرمزية قد حولت التطور كما حولت علم الوقاية من هذا المرض واعطت برهاناً آخر حاسماً حول طبيعته الخمجية العقدية .

عملت نشرات جورج George وجيروار Giroire (1926) ، ونشرات أ . ليمير ومعاونيه (1926- 1937) على التعريف بالإصابة بالبكتيريا العنقودية الخبيثة في الوجه ؛ وعمل ما نشره غريزل سنة 1911 على التعريف بالتهاب الفقرات بالبكتيريا العنقودية . ولكن اكتشاف فلمنغ Fleming هو الذي قلب التطور العيادي للبكتيريا العنقودية .

وعلى كل حال إذا كان قد تم شفاء حالات اصابة بالبكتيريا العنقودية خطيرة فان هذه البكتيريا اكتسبت مناعة ضد البنسلين . والمضادات الحيوية الأخرى ، كان عليها أن تدعم البنسلين . ومع ظهور الأرومات المقاومة ، عرف مرض البكتيريا العنقودية تطوراً لم يعرفه من قبل ، واصبح هذا المرض مستعصياً تماماً في أغلب الاحيان (باربر ، 1948 ؛ فوربر 1949 ؛ مارتن وسورو ، 1950) .

في سنة 1911 رسم فيدال Widal ومعاونوه اللوحة النهائية لخمج الدم ذي « بيرفرنجن » وقرروا الطبيعية الانحلالية في الدم بالنسبة إلى اليرقان . وفي السنة التالية اكد شومن Schumn وهغلر Hegler هذا الوصف المرضي . في سنة 1921 قدم تيسييه Tessier وتلاميذه دراسة اجمالية حول خمج الدم الناتج عن عصية ذات جوف ضخم ، هي في أغلب الاحيان تعقب الخناق ، وبدا البنسلين فعالاً قوياً ضدها .

إن الأعمال التجريبية التي تابعها ريلي Reilly ومدرسته سنة 1934 بينت ان التيفوئيد هو خمجي وتسممً . ان التسمم الداخلي التيفوئيدي ، الذي توضحت طبيعته بفضل أعمال بوافين سنة 1942 يلعب دوراً فعالاً ورئيسياً بفضل انتحائه العصبي في توليد المرض . وفي سنة 1948 أدى تطبيق الكلور امفينيكول لمعالجة هذا المرض ، إلى قلب المسار العيادي والتطوري .

إن أعمال أ . بوافين Boivin والانسة ل . كور Corre (1942) وأعمال ف . كوفمان (1944) ، دلت على تواتر - في النشأة المعدوية المعوية الالتهابية عند الأطفال - للعصيات الامعائية (كولون) المسماة « مولدة للمرض » ، والتي تبدو اختلاطاتها بالمولدات المضادة متنوعة بحيث انها أدت إلى تسمية أرومات العصيات بسلسلة من الاحرف والارقام مثل ,26B6, 55B5) 111B4) .

هذا التعبير يجب أن لا يعني أنّ الانماط الاخرى من « اشيريشياكولي Escherichia Coli » ليست امراضية ، في حين ان البعض منها يمكن أن تعتبر مسؤولة عن اصابات خطيرة وخاصة عن

التهاب السحايا القيحي . ان علم البكتيريا المتعلق بالامراض التسممية الغذائية ، وهو المعروف منذ أواخر القرن التاسع عشر ، مع اكتشاف عصية غاردنر (1883) وعصية ارتريك (1898) ، أو عصية «سالمونيلا تيفيمرريوم » ، ان هذا العلم قد اكتمل منذ خمسين سنة . وفي سنة 1944 بيّن ج . س . ولسون وأ . أ . مايلز اكثر من اربعين سلمونيلا . ان العصية الباراتيفويدية B والعصية ارتريك مسؤولتان عن أغلب الاصابات بالسلمونيلا أي أمراض الامعاء الملحوظة ، على الاقل في فرنسا (فرج Verge ودريو Drieux) . ان دور بعض الأرومات الباكتيرية العنقودية التي تفرز سماً معوياً ، يجب تجريمها أحياناً . وفي مطلق الاحوال يرتكز التشخيص على فحص البراز وعلى الزرع فوق امكنة خاصة (مولر ـ كوفمان ، كريستنسن ـ كوفمان ، س . شيمان) ، وعلى اختبارات تلازن وعلى روائز تخمرية .

وقد أدخل القليل من التعديلات على جدول السعال الديكي . الا ان العيادة قد اغتنت بوصف الاختناق التنفسي (جان ماري وسيه Sée ، 1942) وبالدراسة الاشعاعية للرئة المصابة بالسعال الديكي (سميث ، 1927 ؛ ر . دوبريه ، 1939) .

إن تاريخ اكتشاف الجراثيم اللولبية (لبتوسبيروز) بدأ سنة 1915 على أثر الاكتشاف الذي قام به اينادا Inada وايدو Ido لجرثومة لولبية (لبتوسبيرا ايكتيرو هوموراجيا) في كبد حيوان مخبري كان قد اعطي دم حيوان مريض مصاب باليرقان المعدي الانتكاسي . ويُعرف اليوم أكثر من أربعين نوعاً من اللبتوسبيروز المولدة للمرض بالنسبة إلى الانسان . نذكر عزل « لبتوسبيرا غريبوتيفوزا » (تاراسوف ، 1932) ، ليبتوسبيرا كانيكولا (شوفنر وكلارنبيك ، 1931) ، لبتوسبيرا بومونا (جيزل ، 1937) . ان علم الاوبئة المتعلق بهذه الامراض التي يعتبر انتشارها عالمياً بالنسبة إلى لبتوسبيروز أو مرض اليرقان النزفي قد درس بدقة . ان التشخيص عن طريق المصل ، الذي نصح به لأول مرة ل . مارتن وأ . بتيت Pettit سنة 1919 هو الطريقة الاكثر استعمالاً لتشخيص مختلف أنواع الامراض اللولبية .

إن مرض « اظافر الهر » أو لمفوريتيكيلوز الخفيف الايلاجي قد انتظر حتى منتصف القرن العشرين لكي يتم وصفه .

وفوشي Foshay (1945) هو الأول الذي حدد فردية المرض دون أن ينشر عنه شيئاً ، وذلك باكتشافه التفاعل الداخلي الجلدي ، بواسطة مولد المضاد الذي أعده هنجر وروز . ومنذ 1947 سلّم فوشي عينة من مضاده إلى ر . دوبريه الذي كان قد درس منذ زمن بعيد هذا المرض وقام بوصفه أولاً . وكان ب . مولارت وج . ريلي قد قاما بدراسات موازية سنة 1950 .

وبينت أعمال ر . ديغكويتز Degkwitz سنة 1927 وأعمال ت . تانيغوشي Taniguchi سنة 1935 ، ان الحصبة سببها فيروسي ، وكذلك الحميراء . وهذان الفيروسان زرعهما اندرس سنة 1962 .

وسنة 1942 استحدث هابل هذا المرض الأخير عن طريق الايلاج بواسطة « ماكاكوس مولاتا » ، ايلاج افرازات أنفية أو من الدم مأخوذة من مرضى مصابين بالحميراء ، ثم بايلاج

الفيروس المزروع فوق غشاء وشيقة السلى من جنين الفرخ . ان فيروس الحمبراء يولد أمراض الجنين عندما يصيب البيضة بخلال الاسابيع الأولى من نموها . هذه الامراض الجنينية تحقق كتاراكت ، وتتسبب بالصمم وبامراض القلب (ن . ملك اليستر غريغ Gregg ، 1941) . ونعرف الآن الانعكاسات الخطيرة لهذا المرض عندما يصيب امرأة حامل لاقل من ثلاثة أشهر .

إن مرض تضخم الخلية المتضمنة الذي يصيب الوليد الجديد هو مرض جنيني حاضر .

والوصف الأول التشريحي قد نشر سنة 1904 من قبل جيزيونك Jesionek وكيولومينوغلو Kiolemenoglou اللذين وجدا الخلايا الكبرى المتضمنة ، في الكليتين والرئتين والكبد في طفل ولد ميتاً . ان المظهر المرضي الخلوي (غود باستور Goodpasture وتالبوت ، 1921) يذكر بمفعول الفيروس . في سنة 1947 قدم د . ف . كابل وم . ن . مكفرلان ، أول وصف عيادي للمرض . والبرهان على التشخيص يمكن أن يقدم باكتشاف خلايا عملاقة متضمنة في البول (ج . هـ . فيترمان ، 1952) . وفي سنة 1956 توصل م . سميث إلى زرع فيروس المرض فوق أنسجة خلوية بشرية . وبعدها أعطت الزراعة وعلم الامصال المساعدة للتشخيص .

وتم تحديد ذاتية فيروس الحلاء (الهربس) سنة 1913 من قبل غروتر .

هناك القليل من الامراض ذات الشهرة التافهة تفاهة شهرة الحلاء ورغم ذلك فإن هذا الفيروس الذي يبدو بريئاً ، يمكن ان يحدث في الوليد الجديد تعفناً في الدم فيروسياً ثم يتمركز في الكبد في أغلب الاحيان وبشكل اكثر دلالة (ج . م . هاس Hass ، 1935 ؛ و . و . زولزر Zuelzer وك . س . ستولبرغ Stulberg ، 1952 ؛ ج . ج . كليغان Quilligan وج . ل . ولسون ، 1951 ؛ ر . س . ب . بوف Pugh ، 1954 ؛ أ . ل . فلورمان 1952) . ان التمركز السحائي الدماغي يأتي بعد التمركز السابق من حيث التواتر ومن حيث الخطورة . ورغم ان البراهين الفيروسية والمصلية واجبة لكل تشخيص للقوباء (الهربس) ، فوجود مناطق - في الاعضاء المصابة وخاصة في الكبد - مصابة بالموت الموضعي مع اصابات كبرى بالفيروس داخل الخلايا ذات لون ثابت ، له مميز كاف يتيح التأكد من هذا التشخيص بشكل شبه يقيني .

إن المراحل الكبرى في تاريخ الاكتشافات المتعلقة بكساح الاطفال بدأت سنة 1909 في تونس مع اكتشاف قام به ش . نيكول وكونت وكونسي لانتقال التيفوس التاريخي بواسطة قمل الجسد . في سنة 1916 اكتشف أ . ويل وأ . فليكس هذا المسبار القوي في التشخيص وهو تلازن بعض البروتوس protéus بدم الاشخاص المصابين بالكساح ، وهو سبرٌ جيد وإن غير مفسر . ان العوامل التي تولد الحمى الحبيبية المتوسطية ، والتيفوس التاريخي ، والتيفوس المويني ، والحمى القرمزية في الجبال الصخرية ، والحمى القرمزية الجنوب اميركية ، قد وضعت بالتدرج موضع التأكيد . ان تفاعلات انحراف العنصر المتمم قد وصفت من قبل بلوتر سنة 1942 . وقد خصصت الاعمال الاكثر حداثة بشكل خاص للبحث عن طرق سهلة لزراعة الكساح ، ولاعداد مصول تشخيصية خاصة ولتحضير طعوم ميتة (ويغل ، 1930 ؛ ب . دوران وب . جيرود ، 1940 ؛ هـ . ر . كوكس ، 1942) . ويغير مفعول المضادات الحيوية بشكل فريد تطور الكساح ويؤدي في

أغلب الأحيان إلى شفاء عاجل شرط اعطاء المضادات بشكل غير متأخر .

وفي سنة 1937 عزل أ . هـ . دريك لأول مرة اصابة لوحظت لدى اشخاص يعملون في المسالخ ولدى مزارعين يحتكون كثيراً بالحيوانات الكبيرة ، ثمّ لدى عمال المختبر . وفي ذات السنة عزل ف . م . بورنت وم . فريمان العامل المسبب للمرض وهو ريكتسي اعطاه دريك سنة 1939 اسم « ريكيتسيابورنيتي » ؛ وعرف المرض وهو ذو انتشار عالمي ، تحت اسم حمى كوينسلاند . ان الشخيص المصلي ، ومفعول انحراف العامل المكمل أتاحا بسهولة تشخيص هذا المرض الذي يظهر بشكل حمى وغالباً بشكل التهاب رئوي شاذ .

إن التعرف على كثرة أحاديات النواة الوبائية جاء متأخراً نسبياً . وفي سنة 1920 اقترح سبرنت وايفانس كلمة وحيد النواة الوبائي ، لمرض كان ن . ف . فيلاتوف ، وأ . فيفر وتورك قد ذكروا ملاحظات حوله .

في سنة 1928 جمع ب . شوفالييه تحت اسم « ادينولمفيت الحاد والتافه مع تكاثر الكريات البيضاء المعتدل وكثرة أحاديات النواة » أعراضاً مرضية بدت له معزوة إلى نفس الاسباب . وفي سنة 1932 اكتشف بول وبونل وجود تغيرات مصلية ساهمت في حدوث مرض خاص ، وهذه التغييرات المصلية تستعمل اليوم بشكل شائع من اجل التشخيص . ونقل ب . ج . ويزنغ (1942) من جهة ، ور . سوهير وب . ليبين وف . سوتيه (1940) من جهة أخرى ، نقلوا إلى الانسان وإلى القرد اصابة ذات سمات جرتهم إلى القول بعدم امكانية تلقيح المرض ، وبتدخل محتمل لفيروس متناهي الصغر في احداث هذا المرض . وبدت المشابهة العيادية والدموية مع مرض الكريضات الحاد واضحة ، كما ان تشخيص المرضين اصبح اليوم سريعاً واكيداً .

ومن بين الاصابات بالطفيليات هناك اصابة لم يتم التثبت منها الا بخلال النصف الأول من القرن العشرين ، وهي التكسوبلاسموز أو تسمم البلاسما .

إن وصف الطفيلي المسمّى تكسوبلاسماغوندي يعود إلى شارل نيكول ول . منصو Manceaux اللذين اكتشفاه سنة 1908 في احد القواضم الصغير المستخدم في المختبر باسم « غوندي » . وطيلة حقبة طويلة لم يتجاوز درس هذا الطفيلي التجريب الحيواني ، وان كان قد سبق لـ ليفاديتي سنة 1928 ان التفت إلى المشابهة بين التكسوبلاسموز أو تسمم البلاسما الحيواني ، وبعض حالات التهاب الدماغ الطفولي والذي كانت أوصافه ذات ايحاء (جانكو Janku ، 1923 ؛ توريس Torrès ، 1925) . ودعا ليفاديتي العياديين إلى التفكير بالبحث عن هذا التشابه .

وفي سنة 1939 فقط ، قدم أ . ولف ، ب . كوين ود . بيج البرهان على التسمم البلاسمي البشري . ومنذ ذلك الحين تكاثرت الملاحظات في كل البلدان ، بواسطة وسائل التشخيص الناتجة عن بحوث بيولوجية برزت فيها أسماء أ . سابين وفلدمان وفرنكل . وفي فرنسا كانت الحالات الأولى المدروسة ، من فعل م . لولونغ وليتانڤن وج . ديمونتس 1948 . وعندما يصيب

التسمّم البلاسمي امرأة حاملاً فإن الوليد الجديد يتعرض لأن يصاب بمرض النخاع الشوكي الحاد أو تظهر عليه أعراض اليرقان الخطير المميت . وعند الراشد يؤدي تسمم البلاسما إلى تكوُّن اشكال ليفية غددية أو جلدية أو رئوية ، وتظهر اعراض خفية وبسيطة . وهناك طريقتان متبعتان اليوم تعتبران صالحتين للتشخيص وهما : ردة الفعل ضد تثبيت العنصر المكمل ثم « الصبغة الاختبارية » (Dye-test) التي قال بها أ . سابين وفلدمان سنة 1942 .

XIV ـ السرطان

أصبح السرطان أحد المشاكل الطبية الكبرى في القرن العشرين . والغموض حول نشأته وطبيعته وعلاقته بتكاثر الكريضات ، وضعف الوسائل الجديدة المستعملة لمكافحته ـ رغم أن بعضها يعتبر رائعاً ـ ، وبعض الروابط بين هذا المرض والاحداث المأساوية في التاريخ الحديث ـ مثل القنبلة الذرية على هيروشيما ـ ، وكون تكاثره المطلق يزداد كثيراً مع شيخوخة السكان ، وكذلك تكاثره النسبي المرتبط بمعرفة أفضل وبتضاؤل خطر العدوى ، كل ذلك يشكل عناصر مهمة تجعل العالم المعاصر يهتم بهذا السبب الرئيسي للآلام وللموت . وبعكس ما هو الحال بالنسبة إلى علم الفيروسات ، حقق علم السرطان تقدماً بخلال النصف الأول من القرن العشرين ، لا في مجال التشخيص أو الاستباق أو توسيع المعارف العيادية ، بل في مجال أسباب المرض ، ومولداته ، وذلك بفضل سلسلة مزدوجة من الملاحظات الجديدة على الانسان والحيوان التجريبي . وأخيراً يبدو المجالان مجال علم السرطان ومجال علم الفيروسات ـ رغم تباعدهما من حيث مفاعيلهما الامراضية عند الإنسان ـ متقاربين اليوم بفعل بعض التجارب والتقنيات المشتركة مثل زراعة الأنسجة .

وإنه قبل كل شيء من اجل تبيين صحة هذه الفرضية أو تلك باعتبارها مؤهلة لتفسير ولادة السرطان ، قدم المتخصصون في مجالهم وقائع جديدة ومهمة ؛ وانطلاقاً من أفكارٍ حول ولادة المرض نستطيع تحن عرض التقدم الحاصل .

لا شك إن الدراسات ذات القيمة حول الخلية وحول النسيج السرطاني ، وتكونهما الكيميائي ، وذخيرتهما الانزيمية ، ومفعولهما الايضي ، وزراعتهما ، واقتسامهما ، وأخيراً التحول الخبيث والمفاجيء للخلايا الطبيعية المزروعة على الحي (ايرل ، جاي ، وستانفورد) وامكانية تطعيم السرطان (هانو 1889 ؛ مورو Morau 1891 ؛ لوب 1901 ؛ جنسن 1903) كل ذلك كان له وقع حي . ان شروط نجاح التطعيم وسلوك السرطان المطعم ، وخاصة ظاهرات التطعيم ذات الأهمية الكبرى كانت موضوع أعمال تجريبية ذات قيمة كبيرة . مع ذلك ، فالاكتشافات التي تعنى بالتأثيرت الفيزيائية والكيميائية والطفيلية والفيروسية ، وتأثير الوراثة والتغذية والهرمونات هي التي تستحق الوقوف عندها .

إن النظرية الاحتكاكية والالتهابية المعروفة منذ زمن بعيد مع تأثيرات الضوء الفيزيائية ، وتأثيرات الحرارة ، والاصابات المستعصية الوبائية ، والتئاماتها ، قد تجددت باكتشاف الاشعة المولدة للسرطان .

ومنذ الاصابات الأولى بالاشعاع من القرن الماضي أمكن (كلونت ، 1910)احداث سرطانات في الحيوان بواسطة أشعة X ؛ هذه الاعمال أكدها ب . بلوش سنة 1924 ثم جوكوف سنة 1927 ، ثم لاكسانيه وڤانسان سنة 1929 ولودين سنة 1934 ، وفورث سنة 1936 . ان تأثير المواد المشعة ، أشار إليه لأول مرة سنة 1924 طبيب الأسنان ت . بلوم لدى عامل يشتغل بالراديوم ؛ في سنة 1931 ذكر مارتلانا Martlana إن واحداً على 100 من الملغرام من بروموز الراديوم اذا وزع على كل الهيكل العظمي يكفي حتماً لاحداث سرطان العظم . ومادة التوريوم صنفت بدورها بين العناصر المولدة للسرطان . وتجارب م . غيرين وروسي وغيرين سنة 1933- 1934 جاءت معبرة ثم اكدت واستكملت بعد ذلك من قبل العديد من الباحثين. وهذه الوقائع المختلفة قد استرعت انتباه الأطباء الذين كانوا يستعملون عشوائياً التوروستراست الذي يبقى في الجسم طيلة الحياة .

في الواقع تبين ان كل المواد المشعة وكل العوامل الكهربائية المغناطيسية المشعة تولد السرطان . تلك هي الواقعة الرئيسية الناتجة عن دراسات حديثة .

فمنذ وصف سرطان منظّفي المداخن (برسيفال بوت ، 1755) كم من تقدم في معرفة الاجسام الكيميائية المولدة للسرطان ! ومنذ 1916 حتى سنة 1921 وقعت أعمال يماجيوا Yamagiwa وايشيكاوا Ichikawa حول استحداث السرطان بواسطة القطران ؛ وبعد ذلك حصل مورفي وستورم على سرطان من بعيد ، أي بعيداً عن المنطقة المقطرنة . هذه الاكتشافات أدت إلى الاكتشاف المدوي (اوبرلنغ Oberling) للكربور المولد للسرطان .

من الثابت ، وبصورة تدريجية (روس وكروبر ، 1913 ؛ ب . بلوك Bloch ودريفوس ، 1931 ، ديلمان ، 1922 ، ميسين Maisin 1923) ان الصفات المولدة للسرطان في القطران مرتبطة ببعض التكسيرات . ورأى كينواي Kennaway ومعاونوه (1930) ، ج . و . كوك (1932) إن الاجسام المولدة للسرطان كثيرة .

ومنذ تلك اللحظة احدث دور الكربور المولد للسرطان العديد من الدراسات (الدور المحلي ، الاثر من بعيد ، الشروط الملائمة أو غير الملائمة) وفتحت هذه الدراسات آفاقاً جديدة .

إن القرابة الكيميائية الضيقة الموجودة بين الكاربور المولد للسرطان ومجموعة الاستروييدات تمثّل اكتشافاً غير متوقّع وأيضاً أحد المكتسبات الأساسية في الطب الحديث(اوبرلنغ) .

ومن بين الإسترولات تقع في المرتبة الأولى هرمونات القشرة فوق الكلية والهرمونات الجنسية .

من هنا سلسلة من الوقائع الرئيسية الثابتة : استباق لسرطان الثدي في الفأرة وذلك باستئصال المبيض (لوب ، 1919) ، استحداث سرطان الثدي بواسطة هرمون الاستروجين (لاكاسانيه Lacassagne ، 1932) واصبحت الطريق مفتوحة على يد المكتشفين الأوائل لسرطانات محددة أو

مكبوحة بواسطة الهورمونات ؛ وبدأ هذا الطريق مملوءاً بنتائج مهمة .

ومع الامينات العطرية بدأ مجموع جديد من الاجسام المولدة للسرطان يتكشف : صفار الزبدة (كينوزيتا) ، زرنيخ ، ازرق التريبان ، كروم ، رصاص ، وبدأ البحث اليوم عن عنصر مشترك بين كل هذه المواد وأسلوب عملها . وانطلاقاً من هذه البحوث درس سرطان المدخنين (الفم ، القصبات ، المثانة) بعناية عند الانسان (دول وهيل ، 1950 ؛ شريك ، باكر ، بلارد ، دولغوف) ؛وانصب الاتهام على الطعام عند الانسان (الشحوم الحارة حيث تدخل الكربورات المولّدة للسرطان والإسترولات) ودرست حالات السرطان البشري المرتبطة بالافرازات المزاجية ، وبالعكس الاثر الكابح للهورمونات في سرطان الثدي والمبيض والخصيتين والبروستات .

أفكار جديدة ، تجارب مثمرة ، استطباب مفيد تلك هي جردة عمل الباحثين المنصرفين إلى دراسة المواد الكيميائية ـ بما فيها الهورمونات ـ ذات المفعول المولد والكابح . ولكن هناك عاملاً رئيسياً يساعد أو يكبح مفعول المولدات هو الوراثة .

إن الوراثة المعروفة منذ زمن بعيد عند الإنسان ، قد درست بصورة أفضل (ورم في الشبكية ، اوضاع متعددة خبيثة في المعي ، الخ) وكانت موضوع تجارب لا حصر لها . وكانت مود سلي الأولى التي عثرت على ارومات حيوانية محضة ، مريضة وأخرى سليمة .

إن وقع هذه الدراسات قد أتاح ، بعد كثير من البحوث رؤية الوراثة وكأنها هنا وراثة أرض ووراثة تكوين . فضلاً عن ذلك ، وعند الانسان ، هناك اجماع عموماً على الاعتقاد ، مع اوبرلنغ ان العوامل الخارجية المستقلة عن الوراثة تلعب دوراً أهم من الوراثة ، كما تنبأ بذلك أ . بورل الذي زعم بحماس ان السرطان سببه فيروس يدخله إلى الجسم طفيلي ما .

لقد اقتصر عمل فيبيجيه على جرذانه الموبوءة بالسبيروبتيرا ، التي اعتبرت فيما بعد كجرذان مسرطنة ، ودوننغ وكورتيس (1946) مع يرقات التينيا ؛ وك . بون ، وساندغروند ، (1936) مع الاورام الطفيلية في القرد، اقتصروا على تبيين تأثير ممكن لفيروس ادخله طفيلي ما . في سنة 1910 نجح ف . پ . روس بنقل سركومه إلى دجاجة بواسطة التسريب ثم نقل ورماً عظمياً وخلوياً ثم ورماً نسيجياً .

إن فكرة النقل الفيروسي فرضت نفسها ، وكانت نقطة انطلاق للعديد من البحوث في كل المجالات . ان السركومات التي يمكن تسريبها من الطيور ، قربت من الامراض الكريضية الطيرية ، وكذلك من مرض البلاستومات في الدجاج ، ومن الورم الحليمي المولد للسرطان في الأرنب ومن سرطان الثدي في الفأرة ومن الأورام المختلفة عند الحيوان المنقولة بالتسريب (ألرمان Ellermann وبانغ ، 1908 ؛ ش . اوبرلنغ ، م . غيرين وكثيرون آخرون) .

إن النظرية الفيروسية ترتكز على وجود فيروسات مولدة ؛ وهي مدعومة بقوة في الوقت الحاضر وتتخذ كفرضية عمل من قبل العديد من الباحثين .

وكما رأينا يشكل علم السرطان الحديث اليوم عالم دراسات وهو محفوف بالآمال ويرتكز

حتى في المجال الاستطبابي والوقائي على معطيات ثمينة .

XV ـ أمراض الكولاجين (الأمراض الهلامية)

في سنة 1942 طبق پ . كلمبرير ، أ . د . پولاك وج . باهر كلمة أمراض الكولاجين على الاصابات الحادة أو المستعصية المختلفة جداً من الناحية العيادية ، ولكن تجمعها اصابات نسيجية مشتركة مثل : اصابات تتمركز في النسيج التوصيلي الملحمي وتقوم على تقهقر في ألياف الكولاجين أو الهلام .

هذا التغير في ألياف الكولاجين أو الهلام اتخذ كقاعدة وكمعيار لربط مجموعة من الاصابات متنافرة نوعاً ما . من ذلك لوبوس ارتيماتوس وتيبس في الجلد ، روماتيزم مفصلي حاد وتكلس عقدي ، التهاب المفاصل الحاد والمتفاقم ، امراض الجلد العضلية .

إن اللوبوس اريتماتوس المنتشر كان أول ما دخل في مفهوم أمراض الكولاجين أو الهلام . وهو يظهر بشكل اضطرابات بيولوجية ومزاجية خاصة جداً . وقدم اكتشاف الخلية L.E من قبل هارغرافز ، هـ . ريتشموند ، ومورتون من « المايوكلينيك» ، سنة 1948 ، في الحبل الشوكي ، ثم في الدم الاطرافي لدى المرضى (د . مساندبرغ ولوك) ، والتثبت من العنصر L.E البلاسمي ، وذلك بإثارة ظهور الخلايا L.E ، وبوجود بلاسما الكبدين من المريض مع دم اطرافي عادي (موفات ، بارنس وويس) كل ذلك قدم للتشخيص معيارين بيولوجيين لهما قيمة .

ان اللوبوس اريتماتوس يتضمن أعراضاً جلدية مخاطية خاصة جداً وله وقع حشوي صعب الوصف . ودراسة الاصابات النسيجية تتيح اعتبار النكروز (موت الخلايا) الليفي كنتيجة لمفعول العنصر L.E البلاسمي المتشبث بالغماكريين ؛ ويرى البعض ان هذا العنصر هو جسم مضاد ، مناقض للنسيج الوسطي (انتيمزانشيم) وله أثر في المناعة (كلمبرير Klemperer) .

إن تيبس الجلد يبدو بمظهرين كبيرين اما تيبس جلدي أدمي ملحوظ خاصة عند الاطفال وهو يتطور إلى تحسن في الغالب ، أو تيبس متنام يبدأ بتيبس أصابعي ثم يتعمّم بصورة تدريجية ويتطور بشكل مستعص ، وهو من نصيب الراشد البالغ .

في هذا الشكل الأخير من المرض نلاحظ ببساطة التمركزات الاحشائية (القلب والكلية) ، وبعض هذه التمركزات مشتركة مع الامراض الكولاجينية الأخرى ؛ ان الانتشار اللحمي يجر وراءه تصلباً ضخماً ، ولكن الاصابات النسيجية تشبه الاصابات التي تصيب الجلد والعضلات ، وليست اصابة العضلات فيها حالة استثنائية .

إن الالتهاب العصبي الواسع والتهاب العصب والجلد (الاشكال الحادة عند واغنر Wagner ، 1863 وانفرريكت Unverricht 1891 ، والاشكال المستعصية عند بتجس Petges وكليجات Clejat ، 1906) تبقى محصورة في معظم الحالات بالاصابات العضلية والجلدية التي تتحكم بها .

وتشخيصها أصبح اليوم سهلاً بواسطة المقياس الكهربائي للعضلات (الاصابة العضلية الأولى) ثم الاصابة العضلية الاحيائية (مرض العضلات التقهقري اللمفاوي) . وليس من الممكن دائماً أن يميز الفحص النسيجي بين الالتهاب العضلي وبين تيبس الجلد المضاعف بالتهابات عضلية (تورين) .

وتربط أيضاً بأمراض الكولاجين أمراضاً أخرى محددة تماماً من الناحية العيادية مثل : الروماتيزم المفصلي الحاد الذي تقوم اصابته الأساسية على التهاب أساسي في عضلة القلب ، وفي عقدة آشوف ، وهو يتضمن اصابة ليفية لحمية مقرونة برشح اديمي جلدي . من ذلك الالتهاب الشرياني العقدي الذي تظهر اصابته الأساسية في انحلال ليفي يصيب الكولاجين .

الواقع ان هذا الانحلال ليس خصوصياً تماماً الا من حيث توبوغرافيته الشريانية الاطرافية (أ . كوسمول ور . مرسيه ، 1855) . وتثار هنا النشأة الناتجة عن الحساسية (غروب ، 1925) ، أو النشأة الهورمونية (سيلي وبوتز ، 1943) ، دون أن تثبت أي من الحالتين . ويدور نقاش حول علاقات هذه الاصابة مع الاصابات الكولاجينية الاخرى وخاصة مع بوربورا روماتيزما التي قال بها شونلين وهينوك ومع بعض الامراض الوعائية ، ومع مرض المصل .

الواقع إن مفهوم الكولا جينوز بقي مضللاً بغموض غير حاسم . فالاصابة النسيجية ، هذا التقهقر الليفي قلما يكون خاصاً محدداً وهو مبتعث بكثير من العناصر المختلفة ، فلا يمكن أخذه كمعيار تشريحي صالح بصورة دقيقة . ان اختلال المعيار البروتيدي وفرط الغماكريين ، والتثقيل السكري المتعدّد للبلاسما ، والتغيرات في الميكوبروتينات المصلية ، واكتشاف بروتين C المنشط ، كلّها من الدلائل المزاجية التي لا تعمل الا على نقل الاضطراب إلى الصعيد البلاسمي دون أن تحدده . ان أياً من هذه الاختبارات أو الروائز ليس خصوصياً ذاتياً . ان الوصف العيادي لهذه الامراض ذات الاشارات المميزة يجرّنا هو أيضاً إلى طريق مسدود أكيد . ان الأثر الجيد لحامض A. C. T. H أو للكورتيزون ، الذي يصحّح أوضاعاً ميؤوساً منها ، هل يستحق الوقوف عنده باعتباره ذريعة لصالح سببية مشتركة ؟ الواقع ، ان أثر الهورمونات شديد العمومية وقليل الخصوصية فلا يصح الأخذ به .

هل يتوجب القول بأن كلمة كولاجينوز لا تضيف إلا كلمة بدون قيمة إلى المعجمية الطبية ؟ الواقع ان الاشكال الوسيطة من الأمراض الجلدية الحشوية الخبيثة ، والامراض الجلدية العضلية ليست استثنائية ؛ فهناك أشكال ضائعة بين الجلدية العضلية والجلدية المتصلّبة ، بين الالتهابات المفصلية العقدية ، والجلدية الاحتقانية من جهة ثم امراض الكولاجينوز الأخرى من جهة ثانية ، ثم أيضاً وقائع ضائعة بين الكولاجينوز المذكورة والروماتيزم المفصلي الحاد والالتهاب المفصلي المزمن والمتفاقم .

إن هذه المقاربات هي التي تبرر في النهاية كلمة كولاجينوز . فضلاً عن ذلك ان مفهوم كولاجينوز قد أعطى قوة كبيرة للبحث في مجال النسيج اللحمي وكذلك لتحديد العوامل التي

تتحكم بـالمرونـة الكيميائيـة لهذا العنصـر الدائم التحـرك . ويتوجب علينـا ان ندرك أهميـة المادة الأساسية في النسيج اللحمي ، وأهمية الباتولوجيا (علم الأمراض) الخلوية الـداخلية إلى جـانب البـاتولوجيا الخلوية الكلاسيكية وشبه المحصورة . وعلى هذا الاساس يبدو مفهوم كلمبريبو مـوفقاً ، ومفهوم كولاجنيز أو مولدة الهلام ، وراء الهياكل المولدة للأمراض والمغرية انما المزعـزعة ، يبـدو فعالاً ومخصباً .

الفصل الثالث

تقدم الاستطبابات

إن علم الاستطباب في القرن العشرين جمع انجازاته إلى انجازات الطب الوقائي والصحة العامة فلعب دوراً رئيسياً في تاريخ البشرية .

في أواخر القرن التاسع عشر أين كان الوضع في مجال الاستطباب ؟ الجواب يلخصه الدكتور اتيان ماي E. May في صفحة ممتازة فيقول :

« وهكذا عندما انتهى القرن التاسع عشر ، تمت انجازات كبرى وبعضها كان مشهوراً . ومع ذلك ، فان هذا العمل كله ـ وهذا ما يجب الاعتراف به ـ مليء بالوعود أكثر مما هو بالنتائج المباشرة . فاذا كنا نمتلك معالجة فعالة ، على الاقل في حالات متعددة ، ضد الدفتيريا وضد الكلب ، فاننا ما نزال عاجزين أو ناقصي الاسلحة ضد الامراض الوبائية الأخرى . ان الامراض الحادة التنفسية ما تزال مشوبة بعبء ثقيل من الموت الذي لا نمتلك ضده أية وسيلة مقاومة فعالة . ان الروماتيزم المفصلي قد تحسن كثيراً بفضل ساليسيلات الصودا ؛ ولكن اشكاله الخطيرة ما تزال مستعصية عليه ، وتترك أمراضاً قلبية نهائية يعيش الانسان معها معاقاً إلى حدٍ ما أو انه يموت شاباً . ولا نعرف أي علاج فعال ضد حمى التيفوئيد ، التي كانت طريقة الحمامات الباردة فيها تخفف قليلاً من خطورتها ، بعد أن ابتكرها السويدي براند . أما حمى النفاس فقد اصبحت نادرة منذ ممارسة التطهير ثم التعقيم ؛ ولكنها عندما تقع فلا دواء لها وهي في أغلب الاحيان مميتة . والسل يكتسح فيقف الاطباء أمامه عاجزين عملياً . ويستمر السفلس يعالج بواسطة الزئبق ، وهذا علاج أفضل من الماضي، ولكنه أي السفلس يبقى مرضاً عضالاً ارتداداته المتأخرة وبأشكال وعائية أو عصبية خطيرة تعمر المستشفيات والمآوي ، في حين ان السفلس الموروث يبقى ممّوناً لأطباء الصحة العامة والاطفال . وكذلك الامر بالنسبة إلى الامراض المستعصية التي تصيب مختلف الاعضاء ، وكذلك أمراض التغذية . فالسكري بشكل خاص لا تمكن معالجته الا عن طريق الحمية ، ونسبة الموت فيه تبقى ضخمة خاصة عند الشباب . وينظر الطبيب عاجزاً آسفاً إلى موت المصابين بضعف الدم ، وإلى المرضى بمرض اديسون ، وفي أغلب الاحيان أيضاً إلى المرضى بجحوظ العينين . وخارجاً عن هذه الامراض ذات الخطورة العالية ، من الصعب تحرير المرضى من الاضطرابات التي تؤرقهم .

هذا العجز النسبي يؤدي ، لدى الكثير من الاطباء ، وحتى لدى الافضل منهم ، إلى شك بالطب عظيم . ان العمل في المستشفيات يهتم بتشخيص المرض وبالتشريح وبالفيزيولوجيا أكثر مما يعني بالتطبيب ، حتى بوشارد الذي كانت شهرته كبيرة في أواخر القرن التاسع عشر ، اشتكى من رؤية الطلاب يتعلمون الامراض وعلاماتها ويغفلون الاستعلام عن معالجتها ؛ فالاطباء يمضون وقتاً ضخماً في استكشاف اعراض وفي وضع التشخيص ، وبعدها يتناسون وضع العلاج أو يقومون بهذا الواجب المزعج اراحة للضمير ، وعلى عجل وبخفة باعتبارها مراسيم عبثية . ان وضع التشخيص ومعاينة الاصابات على الجثث ، ذلك كان هدف النشاط الطبي ؛ أما المعالجة فلم تكن الا امتيازاً يفرضه الحاح واعتياد الجمهور » .

كل هذا قد تغير تماماً منذ نصف قرن ، كما يدل على ذلك تاريخ الاستطباب بخلال الخمسين سنة الماضية .

I ـ مقاومة الوباء

إضافة إلى المعرفة العلمية بالأمراض الوبائية ، معرفة تعتبر احد أمجاد القرن التاسع عشر ، جاء استعمال اسلحة منتصرة . فقد تمت حماية الطفولة ضد الاشتراكات المأساوية التي كانت تحدثها بعض الامراض الفيروسية ، كما حميت الطفولة من الميكروبات الشائعة مثل الاصابات الشعبية الرئوية ، والتهاب الاذن والتهاب السحايا والتهاب الامعاء ؛ وفي سن الرشد لم يعد الانسان يعاني من الالتهابات البولية ، والعجوز لم يعد يسقط من جراء التهاب الرئة ؛ واصبح السل قابلاً للشفاء اينما كانت مواضعه . وزال السفلس الولادي حتى ان طلابنا لا يعرفونه الا من خلال كتبهم . أما الاوبئة العامة الكبرى الاستوائية ، مثل امراض النوم والكوليرا والتيفوس والحمى الصفراء والداء الجلدي (بيان) ، كالازار ، وفوق ذلك كله الملاريا وكانت كارثة تاريخية مسلطة على البشرية ، تراجعت أمام العمل الوقائي والصحي والتطبيبي للإنسان . والجذام وهو مرض مخيف « رمز الخطيئة » أصبح مغلوباً والتراخوما التي كانت تعمي الكثير من الأولاد غلبت بنجاح .

لا شك ان هناك أمراضاً فيروسية ما تزال باقية ، فلا تعالج الا بالتلقيح مثل شلل الاطفال الذي يشكل التلقيح سلاحاً صالحاً ضده . وتبقى أيضاً صعوبات تطبيق الطرق والادوية الجديدة ، التي تمنع ، في كل البلدان من انتصار الانسان بشكل عام . ولكن أدوات الغلبة ووسائلها متوفرة له .

لا شك ، في هذه المعركة ، ان لا شيء قد انتهى ، ولا شيء حاسم : فالاعداء المهاجمون مثل البعوض والبكتيريا تولد اعراق مقاومة بفعل الانتقاء ، أو ربما بالتحول عن طريق الانتقاء . وعندها ، إما أن نغير اسلوب الهجوم أو ان نضيف مواد جديدة ، أو نكتشف أدوية جديدة . لا شك فيما خص الفيروسات ، هناك انماط اخرى منها قد تأتي لتحل محل الفيروسات التي قضى عليها العمل البشري . لا شك إن إنفجار الامراض الوبائية المفاجيء مثل الانفلونزا ، ما يزال يتهدد البشرية . ومع ذلك فإنّ نهاية الكوارث بالنسبة إلى الأطفال ، واستطالة العمر الوسطي في الحياة ، وتزايد السكان في الشعوب السائرة في طريق النمو انما تعزى في قسم كبير منها إلى الانتصارات

المحققة في المعركة ضد البكتيريا وضد الجراثيم اللولبية وضد الطفيليات ، ناقلات ومختزنات العوامل المولدة للامراض .

II ـ الاستطباب البيولوجي

إن القرن العشرين قد ورث من عصر باستور طرق مناعة ايجابية بفضل الأمصال ، وناشطة بفضل اللقاحات . والواقع ان التطبيب بالأمصال المضادة للدفتيريا (بهرنغ وكيتاساتو Kitasato ، 1890 ؛ اميل رو E. Roux 1894) ، والمصل ضد التيتانوس (بهرنغ وكيتاساتو ، 1890 ؛ رووفايّارد) الذي أثبت القدرة الاستباقية الوقائية للمصل إذا طبق في وقت لا يوجد فيه إلا جرح مولد للتيتانوس ، ومصل مقاومة الطاعون (يرسين Yersin ، 1894) ، والمصل ضد مرض الفحم (سكلافو ومارشو 1895) كل هذه الامصال افتتحت وانهت بآن واحد مهمة العلاج بالأمصال باعتباره ، العلاج الخيّر .

لأن المصل المضاد للزحار (الزنطارية) (رونتال ، تود ، ڤيادرت ، دربتر ، 1903 - 1904) والمصل المضاد لالتهاب السحايا بالمكورات (توكمان ، 1906 ؛ فلكسنر Flexner ، 1907) لم يعطيا الا نتائج غير كافية (نيتر ودوبريه ، دوبتر Dopter) واستعمال الامصال من اصل بشري يقدم حتى الآن بعض الخدمات في الصراع ضد الحصبة (ش. نيكول وكونساي، دوكويتز، ر. دوبريه)، وضد شلل الاطفال وضد التهاب الكبد الوبائي ، انما على أساس وقائي فقط (إلر وليڤاديتي ، هانيمار) . في الوقت الحاضر ، وبفضل تكسير الالبومينات أو الزلالات المصلية (كوهن Cohn) تستعمل الغماكريين . وبالمقابل ان التلقيحات ، المتولدة عن عمل باستور حول الكلب تابعت مسارها ابتداءً من نهاية القرن التاسع عشر . والتلقيح ضد حمّى التيفوئيد بواسطة الزرق للجراثيم الميتة (آ . رايت ؛ فيفر ، ف . ف . روسل ، شانتماس ، وڤيدال) قد تطور بخلال الحرب العالمية الأولى ، وما يزال مستعملاً حتى الآن .

وفعالية هذا التلقيح وكذلك حدوده ، وخاصة وقوع بعض الحوادث ، وضرورة الزرق المتكرر ، ومعرفة أفضل بتوليد الاجسام المضادة الميكروبية ، كل ذلك كان من المكتسبات المفيدة من اجل استخدام التلقيح ومن أجل الدراسات المتعلقة بالطعوم الأخرى .

إن التلقيح ضد السل كان قد نجح على يد كالمت وغيرين بعد عدة حالات فشل .

والعصية البقرية الفتاكة المزروعة من قبل الباحثين فوق وسط صفراوي ، ثم اعادة زرعها عدداً كبيراً من المرات في هذا المكان (1906 - 1919) ولد عرقاً مخففاً (عصية كالمت وغيرين : B. C. G.) قادراً على الحد من اصابة محلية خفيفة جداً قابلة للشفاء مقرونة بالتهاب غددي بسيط ، ومحدثة بآن واحد حساسية خاصة ومناعة ضد تفاقم المرض بعصيات بشرية أو بقرية آتية من الوسط الخارجي . وتلقيح الانسان الذي جرى لاول مرة على المواليد الجدد من قبل ويل ـ هالي وتوربين (1922) ، يدل على عدم ضرره بالنسبة إلى نوعنا ، وقد دلت على ذلك ملايين الحالات من تعاطيه عن طريق الفم وعن طريق الجلد فيما بعد . والعرق ، قد يتنوع قليلاً فيولّد اعراقاً وليدة أكثر فتكاً إلى حدٍ ما أو أقل فتكاً بقليل (ر . دوبوس) ، ولكنه لم يسترجع أبداً سمته الامراضية الاساسية .

ورغم المأساة (كما يحصل غالباً في بداية استعمال كل طرق التلقيح ، وسببها هنا الاضافة المجرمة التي قام بها طبيب من لوبيك ، اضافة عروق بشرية فتاكة إلى لقاح كالمت) ، ورغم صعوبة اثبات ، وخاصة قياس فعالية هذا اللقاح ، فانه قد انتشر في العالم اجمع : وبينت تجارب حاسمة (بالشهود) فعاليته ودوره في تقصير الحالة الامراضية في السل اثناء الحملات الجماهيرية وخاصة في افريقيا وآسيا واميركا الجنوبية وأيضاً في بعض بلدان أوروبا .

والطريقة معتمدة عموماً في مكافحة السل رغم المدة المحدودة لمفعوله ورغم الحاجة إلى إعادة التلقيح . وكان في هذا أول معركة ناجحة ضد الكارثة السلية ، معركة ما تزال غير كافية من أجل تحقيق الانتصار الكامل .

وكانت الحمى الصفراء موضوع بحوث صبورة وصعبة (و . ريد ، أ . مارشو ، وج . غورغاس ، أ . ستوكس ، م . تيلر ، و . لويد ، الخ) . ان التلقيح ضد الحمى الصفراء يستعمل إما فيروساً عصبي المنحى في الفأر المستخدم كضحية (پلتيه ، دوريو ، جونشير ، أركييه ، 1939) أو يستعمل فيروساً مخففاً مزروعاً في انسجة جنينية (فوكس ، لنيتي ، مانسو وسوزا ، اغيار ، 1943) وهو الاكثر استعمالاً من السابق لانه لا يحدث انعكاسات .

إن التلقيح ضد التيفوس ، ومحاربة ناقلاته قد أتاح لجم هذا المرض الذي يحصل في كل الحروب .

إن اللقاحات الحية التي حضرها ليغريه (1939) ، ودو بلان وبالتازار Balthazard (1941) أعطت نتائج ملحوظة ولكنها ليست محمولة دائماً . واللقاحات الميتة التي أعدها دوران وجيرو Giroux (1940) ، والتي تستخدم رئات الفئران ، ولقاحات كوكس Cox الذي استعمل كوسط للزراعة بيضة الدجاجة المحضونة لمدة عشرة أيام ، هذه اللقاحات المستعملة على نطاق واسع قضت قضاءً تاماً على الوفاة بخلال الحرب العالمية الثانية . والكفاح ضد القمل وهو عامل ناقل اكتشفه ش . نيكول (1909) ، قد حُسِّن كثيراً باستعمال المبيدات الحشرية الجديدة (ومنها مسحوق د . د . ت والذي حضّره لأول مرة ، سنة 1903 ، زيدلر Zeidler والتي اكتشف الكيميائي السويسري مولر Muller خصائصه كمبيد للحشرات سنة 1942) المطبقة على الاشخاص المعرضين .

وضد الطاعون شاع استعمال اللقاحات ذات الفيروس المخفف (فيروس لقاح جيرارد ورويك، 1934) ، ولقاحات العصيات الميتة بالحرارة أو بواسطة الفورمول (كالمت وبورل ، 1895 ؛ أفكين ، 1906 ؛ لومانيك وپونس Pons ، 1932) ، بفعالية كبيرة .

وضد الشهاق أو السعال الديكي ، يبقى المصل العالي المناعة المحضر بواسطة مصل من اشخاص ملقحين ، مستعملاً بشكل شائع لدى الرضع (كندريك ، 1936 ؛ مك غينس ، 1937 ؛ كوهن ولابين 1939 ؛ شينبلوم وبولونڤا ، 1944 ؛ دوبريه ، 1949) . ولكن اعمال ليسلي وغاردنر (1931) حول سمات ومختلف مراحل المولدات المضادة لعصية بورديه ـ جنغو (1907) Bordet-Gengo قد أتاحت صنع لقاح ضد الشهاق ، مصنوع من زراعات ميتة بواسطة الفورمول ،

يتيح تطبيقها حماية الاولاد الصغار المهددين بمضاعفات خطيرة .

أما التلقيح ضد الدفتيريا والتيتانوس فقد اتبع طريقاً آخر ، هو طريق تغير السموم المذوبة بعد ابطال سميتها مع الحفاظ على قدرتها الالقاحية (ج . رامون) .

بيّن ج . رامون سنة 1923 ان سمّاً دفتيرياً ، مضافاً إليه الفورمول ضمن بعض الشروط ، يحتفظ تماماً بقدرته على امناع الانسان والحيوان دون احداث أي ضرر سمّي . واقترح لهذا المستحضر الجديد اسم « اناتوكسين » . والصراع ضد الدفتيريا والتيتانوس لقي ، بفضل هذا الاكتشاف نجاحاً ملحوظاً في العالم اجمع .

وظهر الفورمول كعامل ممتاز في تخفيف حدة الامراض ، بل وأيضاً في تخفيف حدة الفيروسات بالذات ، وهكذا تم تحضير عدة انماط من الفيروسات المشلولة النشاط ، وخاصة فيروس شلل الاطفال (ج . سالك ، 1954 ؛ پ . ليپين ، 1956) . ان اللقاح المضاد لشلل الاطفال يستعمل اليوم على مدى واسع ويعطي أملاً كبيراً . فضلاً عن ذلك اقترح هـ . كوبروسكي وآ . سابين اسلوباً آخر في التلقيح ضد شلل الاطفال يقوم على زرق فيروس حي مخفف .

III ـ الاستطباب بالمضادات الحيوية

تثير الكلمة قدرة جديدة من قدرات الانسان وهو يكافح الاوبئة المولدة للامراض . فمنذ 1877 اكتشف پاستور وجوبرت ان التنافض بين البكتيريا يمكن أن يظهر في اجسام الحيوانات واضاف پاستور : « ربما تتيح هذه الوقائع آمالاً كبيرة جداً من الناحية الاستطبابية » .

في سنة 1889 استعمل فيليمان كلمة مضاد حيوي ، التي اشتهرت والتي تعرف بالظاهرة التالية : « عندما يتحد جسمان حيان بذات الوقت ، ويمارس احدهما على الآخر أثراً تحطيمياً فوق جزء واسع نوعاً ما من الآخر ، عندها نقول يوجد تضاد حيوي » . ومن جهة أخرى بيّن علماء البكتيريا في مدرسة باستور ، وخاصة وينوغرادسكي ، الذين عكفوا على دراسة البكتيريا الزراعية ، ان بعض الخمائر تمنع في التربة نمو البكتيريا .

في سنة 1929 لاحظ الكسندر فليمنع ان عفناً يشبه بينيسيليوم نوتاتوم ، يمنع في المختبر نمو المكورات المسماة ستافيلوكوك ، وكذلك الستربتوكوك ، كما يمنع نمو عصية الدفتيريا ، وبكتيريا مرض الفحم . ولاحظ فيما بعد ان الوسط الذي تنمو فيه هذه الزراعات يتسم بذات الصفة القاتلة للبكتيريا . وتثبت من ان سائل الزراعة ليس ساماً بالنسبة إلى الفئران (وذلك بعد زرقها داخل الصفاق أو غشاء الكرش) ولا هو سام بالنسبة إلى الانسان ، بعد تطبيقه موضعياً .

وتبنى لهذه المادة اسم بنيسلين وتأكد انها تميت في المختبر عدداً كبيراً من البكتيريا دون أن تؤذي الكريات البيضاء (1931 - 1932) ؛ ولكنه لم يوسع أكثر ، في ذلك الحين ، استقصاءاته فيما خص هذا النوع من البنسلين الاول الذي كلف اعداده جهوداً كبيرة .

في سنة 1939 اكتشف رينيه دوبوس المفعول المضادي الحيوي لجسيم ميكروبي أرضي هو

« باسيلوس بريفيس » ضد بكتيريا غرام + . وفي الفترة 1940 - 1942 اكتشف التيروتريسين المكون من مضادين حيويين هما غراميسيدين وتيروسيدين . وهذا التيروتريسين له نشاط كبير ولكنه سام فلا يمكن استخدامه الا سطحياً .

في سنة 1939 انكب فريق من الباحثين في مختبر علم الامراض في اكسفورد ، بقيادة هورد فلوري وارنست بوريس شين ، من جديد على مسألة البنسلين ، وتوصل إلى الحصول عليه نقياً . وجرت أول تجربة على الانسان السليم في 27 كانون الثاني سنة 1941 ؛ وبعدها استعمل البنسلين على ستة مرضى ابتداءً من الشهر التالي . وبعد ذلك وبفضل العديد من الانجازات في الصناعة سار البنسلين على طريقه المظفرة .

وتأثيره على المكورات ذات غرام ايجابي غير رأساً على عقب معالجة المكورات المسماة ستافيلوكوكسي وستربتوكوكسي وبنموكوكسي (مكورات عنقودية) . وأتاح تأثيره وقاية فعالة من الحمى القرمزية ومن الخناق ، ومن النكسات الروماتيزيمية المفصلية الحادة ومن التهاب شغاف القلب البطيء . وساعد تأثيره على مكورتين من غرام سلبي : مكورة سحائية ومكورة سيلانية، على الشفاء بسهولة من امراض السحايا ومن الامراض في النخاع الشوكي كما ساعد على مكافحة التعقيبة بفعالية . وأثره الرائع على مسببات السفلس وعلى اليبان (داء جلدي) غيَّر كلياً انتشار وتطور وخطورة هذين المرضين ، وأتاح الامل بالقضاء عليهما . وفي الاصابات الغنغرينية فان مفعوله أيضاً ملحوظ وشافٍ ، وكذلك ضد الدفتيريا .

ورغم كل الاكتشافات اللاحقة يبقى البنسلين المضاد الحيوي الرئيسي الذي يتيح استعماله الشفاء كل يوم كما يتيح معالجة حالات ميؤوس منها . وعدم سمية البنسلين ، التي شغلت في السابق فليمنغ ، تأكدت بتجربة عالمية ضخمة باستثناء بعض مشاكل تتعلق بالحساسية بصورة استثنائية ، وهذه الاستثناءات لا تكذب عدم السمية المذكورة . ان اكتشاف الستربتوميسين كان مكافأة لجهود خمس سنوات من البحوث المنهجية قام بها س . آ . واكسمان وفريقه ، حين قدم ، لأول مرة في تاريخ الاستطباب ، سلاحاً خصوصياً فعالاً ضد عصية السل .

عند دراسة الاجسام الميكروبية في التربة القادرة على تدمير العديد من الميكروبات التي تنصب فيها ، توصل واكسمان إلى العزل في زراعات « اكتينوميسي غريزوس » مادة كابحة لنمو عصية السل فسماها ستربتوميسين (كانون الثاني 1944) .

ولأول مرة التجأ الاطباء إليها بعد عجزهم ضد السل . وكانت النتائج الاكثر اثارة قد حصلت في الاشكال الاكثر خطورة أي في حالات السل الحادة وخاصة في التهاب السحايا السلي الذي لم تشف منه أية حالة . وبالمقابل بدا الستربتوميسين اقل فعالية بشكل عام من البنسلين بالنسبة إلى بعض الميكروبات الشائعة ، ولكنه يصد ميكروبات الخناق أو السعال الديكي ، والمكورات الكساحية . وهو اكثر سمية من البنسلين ولذا يستعمل المضادين في أغلب الاحيان بآنٍ واحد . وهناك واقع مهم ذو فائدة بيولوجية كبيرة وذو مدى لا جدال فيه ، وهو التأكد ان بعض الجراثيم قد تصبح مقاومة لواحد أو أكثر من المضادات الحيوية اثناء العلاج الطويل نوعاً ما . وان هذه الاشكال

المقاومة قادرة على امراض الانسان الصحيح . من هنا ، من جهة بذل الجهود للاكثار من المضادات ثم تحقيق الاستطباب المركب الذي يمنع ظهور المقاومة من جهة أخرى ، ولكن الفشل مع الاسف قد يحدث احياناً .

إن انتشار بعض الاعراق الميكروبية المقاومة (مثل الستافيلوكوك ، وربما الغونوكوك ، أو السيلان) يشكل في النهاية مشكلة صعبة في مجال الصحة . ان بعض الامراض تبقى دائماً حساسة (سبيروشيت ، ستربتوكوك ، بنموكوك) . فضلاً عن ذلك ان الاثر التخريبي للمضادات على المجموع المعوي لا يخلو من اضرار .

وبعد البنسلين والستربتوميسين تم اكتشاف العديد من المضادات الحيوية .

لقد تم عزل الكلورامفينيكول سنة 1947 من قبل پ . ر . بوركهولدر انطلاقاً من ستربتوميسي فنزويلا ، وهو اليوم يصنع بالتركيب ، وهو فعال ضد العديد من الجراثيم وخاصة ضد عصيات التيفوئيد وشبه التيفوئيد . وقد غير المسار العيادي والتطوري لهذه الامراض . وهو فعال أيضاً ضد عصيات الكولون ، وضد التيفوس الكمخي وضد العديد من الجراثيم الاخرى .

وتم اكتشاف الاوريوميسين سنة 1948 (ب . م . دوغار) انطلاقاً من ستربتوميسي أوريوفاسين .

وتم اكتشاف التراميسين سنة 1950 انطلاقاً من ستربتوميسي ريموزوس بفضل فريق من الباحثين يعملون تحت ادارة آ . ك . فينلي . وهذان المضادان لهما نطاق عمل واسع جداً تجاه العديد من الجراثيم وهما فعالان بالاخذ عن طريق الفم .

في سنة 1953 حصل بوتمان وهندريكس وولش ، انطلاقاً من زراعة الستربتوميسي البوجيمر على التتراسكلين الذي يشبه نطاق فعله نطاق عمل الأوريوميسين والتراميسين . وانطلاقاً من زراعات الستربتوميسي سفير ويدي تم اكتشاف الكاتوميسين الناشط بشكل خاص ضد مكورات ذات غرام + .وتم الحصول على النيومسين الذي اكتشفه واكسمان ولوشوفاليه سنة 1949 انطلاقاً من زراعة ستربتوميسي فراديا ، ومفعوله ضد البكتيريا يشبه كثيراً مفعول الستربتوميسين : وهو ناشط أيضاً ضد العديد من الجراثيم الاخرى ، ولكن سميته تحد من استعماله (الاصابة بالكلي) وهو يستعمل موضعياً من الخارج في امراض الجلد والتهاب الانف والحنجرة ، والسينوزيت ومفاصل العظام .

وتأتي أنواع البوليمكسين من عرق باسيليوس بوليميكسا (ف . ج . ستانسلي ، 1947) ؛ وهي ناشطة ضد ب . بروسيانيك في بعض الامراض البولية والمعوية والسحايا ؛ ولكنها سامة بالنسبة إلى الكلية . أما الكوليميسين المكتشف سنة 1950 من قبل ياسنوكوياما فيأتي من زراعة باسيليوس كوليستينوس . وهو فعَّال ضد العصيات المعوية والكلبوية .

وتم عزل الفونجيسيدين (الفطريّ) سنة 1950 من قبل هازن وبراون انطلاقاً من الستربتوميسي نورسيّ ، وهو مضاد للفطور يعطى عن طريق الفم وبالدهن الخارجي ، كما يعطى

ضد التعفنات التي تكاثرت ، وازداد خطرها بفعل تعميم استعمال المضادات الحيوية ضد البكتيريا بشكل واسع .

ولم ينته بعد هذا المخزون الذي يتزايد تزويده كل يوم ، من اجل مكافحة العروق المقاومة . واذا كان استعمال هذه المضادات قد يساء تطبيقه أحياناً ، فيجب ان لا ننسى فضائله العجيبة الاستطبابية ، الفعّالة كل يوم ، بحيث يعتبر من امجاد عصرنا .

وقد نعثر يومياً على مواد جديدة ذات خصائص مضادة للبكتيريا ، مستخرجة من سلسلة كاملة من ممثلات المملكة النباتية . وحتى وقتنا الحاضر لعبت العفونات دوراً رئيسياً ، ولكن التضاد الحيوي وهو تطبيق استطبابي مدهش ، لمّا يقلْ بعد كلمته الأخيرة .

IV ـ الاستطباب الكيميائي

لقد حققت الكيمياء ، بالنسبة إلى الاستطباب ضد الأوبئة تقدماً ملحوظاً يوازي ما حققته البيولوجيا . فمع تحقيق تركيب المواد ذات المنشأ البكتيري والفطري ، وهي أنواع من المضادات الاصنطاعية ذات القيمة العالية،غيرت الكيمياء الادوية شبه المعدنية أو المعدنية المنقولة الينا بالتراث . وأخيراً استمرت في خلق أدوية مضادة للاوبئة جديدة بصورة كاملة ، وذات قيمة لا تقدر (راجع أيضاً دراسة آ . ايهد ، الفقرة VI ، الفصل XI من القسم الثاني) .

من بين الادوية الكيميائية التقليدية التي غيرتها الكيمياء يجب أن نذكر أولاً الزرنيخ . اذ بناءً على ايعاز من اهلريك ، صنعت أدوية ارسينوبنزول (سالفرسان 1909 ، نيو سالفرسان 1912) ، سلاح أعتبر يومئذٍ ملحوظاً لمقاومة السفلس ، ثم انيل ارسينات الصوديوم ضد الطفيليات المثقبات .

إن الأثر الاستطبابي للزرنيخ في مقاومة السفلس ، قد دعم فيما بعد باستعمال البيسموث (سازيراك وليفاديتي ، فورنيه وغينيوت 1921) . في سنة 1915 ، جاء الانتيموان القديم ليتلقى تجديداً مشابهاً واستعمل يومئذٍ بنجاح في معالجة الليشمانيوز [طفيلي أحادي الخلية] ولمعالجة تريبانوسوميوز [أمراض جلدية] (دي كريستينو وكارونيا) . في سنة 1923 بيَّن بلومر المفاعيل الرائعة لليود حول جحوظ العين .

إن الأدوية الجديدة التي ركبها العلم الكيميائي ، تسببت بنهضة صناعية صيدلانية ذات أهمية عالمية بالنسبة إلى التطور والفعالية التي لا تحتاج إلى تركيز . وفي الوقت الحاضر يوجد في المختبرات بشكل احتياطي سلسلة من الاجسام الجديدة الكثيرة العدد ، والمكتشفة بوتيرة سريعة ، لا يمكن معها دراستها تجريبياً (من ناحية سميتها وفعاليتها) ، والتي ربما تعطي في الغد منافع كبيرة . ان السولفاميد قد فتحت سلسلة هذه الاكتشافات . وقد ولدت هذه المواد وفقاً لتنبؤات اهرليك ، من فكرة الدور الذي يمكن أن تلعبه ضد الأوبئة بعض المواد الملونة .

من أجل إعداد ملون جديد قام جلمو سنة 1908 بتركيب مادة سولفانيلاميد وفي سنة 1913 درس ايسنبرغ المفعول القاتل للبكتيريا في مختلف الملونات التي تحوي مجموعة السولفوناميد.

ودوماك هو الأول الذي قرر سنة 1935 القيمة المضادة للأوبئة الموجودة في أول سولفاميد طبق على مرض بشري ، وهو البرونتوزيل ، المركب فيما بعد من قبل جيرارد تحت اسم روبيازول . وفي مختبر فورنو سرعان ما بينت مدام تريفوويل مع د . بوفت وف . نيتي ان النشاط المضاد للميكروبات مرتبط بقسم فقط من جزيئه (بارا ـ أمينو ـ فنيل ـ سولفاميد) . وتم اعداد اجسام جديدة يومئذٍ انطلاقاً من نواة سولفاميد بدا نشاطها واسلوب امتصاصها ومدة عملها متغيرة وفقاً للمعادلة الكيميائية . الا انها تؤدي دائماً خدمات كبرى في معالجة العديد من الامراض الوبائية خاصة الاصابات التي تصيب السحايا بالخمج أو الانتان وكذلك الرئة والسيلان وعصيات الامعاء . ان الاستطباب بالمضادات الانتانية استطاع عندئذٍ أن يحل محل أو أن يشترك مع الادوية الكيميائية والبيولوجية ، بحسب الجرثومة المسؤولة وبحسب التربة . فضلاً عن ذلك وبالنسبة إلى السولفاميد ، كما بالنسبة إلى المضادات الحيوية ، أمكنت مشاهدة ظاهرات مقاومة بكتيرية ، من الواجب أخذها في الحسبان . وهكذا ولدت الكيمياء الطبية المضادة للأوبئة لتحل محل الكيمياء الطبية المناوئة للطفيليات والتي قال بها اهرليك .

رغم تحقيق اكتشاف ديامينو ـ ديفينل سولفون أو سولفون الأم ، قد تحقق من قبل فروم ويتمان منذ ما يقارب نصف قرن ، فانه فقط في سنة 1957 اكتشف فورنو وتريفوويل ومعاونوهما في فرنسا ، وبوتل في انكلترا ، النشاط المضاد للأوبئة ، في المادة المذكورة ؛ وفي سنة 1943 حول ج . هـ . فاغت في الولايات المتحدة معالجة الجذام ، بادخال السولفون في استطبابه : سيميدون ، ديزولون ، استعملا استعمالاً شائعاً وبنجاح . وهناك أدوية أخرى تستعمل ضد الجذام ، مع انها تبدو فعالة ضد عصية السل ومنها : تيوز ـ ميكاربازون (دوماك ، 1945) ، ايزونيازيد ، ستربتوميسين و P.A.S . ويبقي الشولموغرا العامل الاكثر فعالية بين كل الادوية المضادة للجذام مستعملاً حتى اليوم .

في سنة 1943-1944 دخلت الكيمياء الاستطبابية في مجال مكافحة السل عن طريق الأدوية الجديدة التي سوف تنضاف إلى الستربتوميسين . اكتشف برنهيم من شيكاغو ان الساليسيلات وبانزوات السودا تزيد من استهلاك الاوكسجين في زراعة العصيات السلية . وهكذا توصل إلى البحث عن مواد كيميائية ، تستطيع ، مع بقائها منتمية إلى نفس الفئة ، صد أو كبح استهلاك الاوكسجين وبالتالي اعاقة تكاثر العصيات . واكتشف ج . ليهمان ان ادخال مجموعة NH_2 كاضافة يمكن من الحصول على هذه النتيجة .

ويمتلك حامض بارا ـ امينوساليسيليك (P. A. S) مفعولاً واضحاً بكتيرياً . واكد العياديون هذه النتيجة (ليهمان ، انشوتم آخرون) . ان ملح السوديوم في هذا الحامض (B. P. A. S) اذا أعطي عن طريق الفم أو بالحقن في الوريد يبدو فعالاً وبشكل خاص عندما يضاف إلى الستربتوميسين من أجل استباق المقاومة ضد الستربتوميسين .

ولكن سرعان ما بدا الهيدرازين في الحامض ايزونيكوتين أو ما يسمى ايزونيازيد (I. N. H) ، الذي تم تركيبه صناعياً سنة 1912 من قبل كيميائيين نمساويين هما مابر ونالي ، والذي اكتشف

نشاطه سنة 1950 من قبل أ . غرونبرغ وو . ليوانت ور . ج . شنيتزر ، بـدا هذا العقـار أفعل دواء ضد السل .

ويمكن اعـطاء الـ(I. N. H) بسهولـة عن طريق الفم . وهـو يحتوي على جـزيء صغيـر ذي انتشار واسع وله تأثير خاص ضد عصية السل ، وتأثيره لا يقتصر على تجميد البكتيريا بل يقتلها ، وأخيراً ليس له إلا سمية بسيطة جداً . هذا الدواء السهل الاستعمال النشيط ، ثور معالجة الإصابة بالسل ، سواء استعمل وحيداً ، وهذا ما يجري عادة ، أو استعمل مضافاً إلى الـ P.A.S وإلى الستربتوميسين .

ان الاستطباب الكيميائي قدم لنا بخلال السنوات الأخيرة السيكلوسيـرين ، وبصورة خـاصة الاتيوناميـد وفي مجال مكافحة مرض عضال آخر وهو الملاريا ، جـاءت المستحضرات التـركيبية الكيميـائية تحـل محل الكينين بشكـل واسع ، رغم ان هـذا الأخيـر بقي ممتـازاً ضـد الاصـابـات الخبيثة .

وانـطلاقاً من نـواة هرميـة موجـودة في السولفـاميـد وذات مفعـول ضـد المـلاريـا تم تـركيب البـالودرين (كـورد ، دافي وروز، 1945) . وتم اكتشف النيڤاكين والكلوروكين من قبـل الكيميائيين الالمان (باير ، 1938) . وهناك مستحضرات أخرى مشتقـة من الاكريـدين ؛ واخرى من مشتقـات الكينوليك : بلاسموكين ، رودوكين وفلاڤوكين . ان هذه الادوية المضادة للملاريـا تعمل بـاشكال مختلفة ، فبعضها ينشط ضد مولّدات الحيوينات المنغلقة وبعضها الآخر يعمل ضد الغاميت .

إن السمية الضعيفة والفعالية وسهولة الاستعمال في هذه المستحضرات التركيبية قـد سهلت إلى حدٍ كبير محاربة الملاريا . ولكن مكافحة الملاريا تتجه أكثر فأكثر نحو المناعـة ، ليس الفرديـة فقط بل الاجتماعية .

هذا الكفاح مشروط بالقضاء على البعوض وتحييـده باعتبـاره ناقـلاً للطفيلي : من هنا أهميـة بعض النشاطات الرسمية مثـل الغاء الميـاه المستنقعة ، وتقـوم التقنية على تغـطية مجمعـات المياه بطبقة قشرية من البترول أو من التالك ، وخاصة استعمال المبيدات الحشريـة التلامسيـة مثل الـ D. D. T والـ H. C. H . وبقي الايميتين المستعمل سنة 1912 ضد الامراض الاميبية ، من قبل روجـرز Rogers ضـروريـاً حتى اليـوم . ولكن جـاءت المضـادات الحيـويـة لحسن الحظ تتـدخـل مثـل الاوريوميسين والتراميسين . كما ظهرت مستحضرات جديدة .

نذكر بشكل خاص مشتقات اليود من الأوكسي كينولين (ديو دوكين) المكتشفة سنة 1915 من قبل انتونين مورتون ، وسميت في فرنسا ميكزيود أو ريكسيود . ودرس الكونيسين وهـو قلوي مشتق من «هولا ر هينا فلوريبـوندا» ، الـذي اكتشفه شـوفاليـه سنة 1935 ، من قبـل أطباء في داكـار (دوريو وصدِّيقي ، الخ ، 1932 - 1946) . وعدا عن ستوفارسول (مارشو ، 1923) هناك الآن مركب جديد من الزرنيخ اسمه : مزدوج (ب ـ ارسينوفنيل امينو) – 1,2 ايتام ـ ملح سوديك أو 4763RP ، درسه كـوزار وج . شنيدر عيـادياً ، ودرمـه ر . دوبو تجـريبياً . وضـد مرض التريبـان (مـرض جلدي) والكلازار تم تحقيق تقدم كبير باكتشـاف المفعول الاستـطبابي لبعض المستحضـرات من مجموعـة

ديامیدين العطرية : لوميدين اكتشفه ايونس (1933) ، ودرسه فيما بعد أدلر (1939) . ولم يكن يوجد أي دواء ضد داء الخيطيات البشرية ، عندما اكتشف هيويت Hewitt ومعاونوه سنة 1947 ، نشاطاً مشتقاً من البيبي رازين وهو : « دي اثيل ـ كاربامیل ـ 1 ـ ميتيل ـ 4 ـ بيبرازين » .

إن الكيمياء الاستطبابية ـ عدا عن المكافحة الأساسية التي تتيحها اليوم ضد الأمراض الوبائية والطفيلية ـ قد حقّقت بعض التقدم في مجال الأدوية المنظمة لخفقان القلب ، والأدوية المدرة للبول .

الأدوية الملطفة لخفقان القلب ـ بخلال العشرين سنة الأخيرة تغيرت وسائل وأساليب مراقبة اضطراب نبض القلب . وبقي الديجيتالين الدواء ذا الأهمية الاستثنائية ، ولكن فعالية املاح الكينيدين ، التي دخلت في مجال الاستطباب على يد و . فري سنة 1918 لم تعد بحاجة لاظهار فضلها خاصة ضد اضطراب نبض القلب الكامل .

وشاع استعمال أميدبروكاينيك لمعالجة عثرات القلب البطينية ومعالجة أزمات ارتفاع الخفقان البطيني (ل . ك . مارك ، ي . برلين ، هـ . كايدن ، روفنستين ، ستيل وب . برودي ، 1950) . واستخدم ايزوبربيل نورادرينالين (ناتانسان ومولر ، 1952) الذي يرفع تحفيز القلب ، في معالجة الصدمات الاذينية البطينية ، وحل فيها محل الايفيدرين . ونصح بلت ، واسرمان وبرودي سنة 1955 باستعمال لكتات السوديوم لزيادة نبضات البطين بشكل أوتوماتيكي وهو يستعمل ضد حوادث ادامس ـ ستوكس .

واستعمال هذه المستحضرات القادرة على تضبيط النبضات التجويفية أو السيطرة على الاضطرابات في النبض لا يمكن ان يتم الا تحت المراقبة الدقيقة العيادية مع التسجيل الكهربائي القلبي ، وتحت الرقابة البيولوجية أحياناً .

مدرات البول ـ إن مشتقات كزانتيك مثل التيوبرومين والتيوفيلين تبقى مدرات اللبول شائعة الاستعمال في حالات القصور القلبي مع وجود السيلان السورمي . ولكن المفعول الإداري لمستحضرات الزئبق ما تزال قيمته ترتفع في حين تم حديثاً اكتشاف واستعمال مدرات أخرى فعالة جداً .

ويتم استعمال المركبات العضوية الزئبقية الغنية بالزئبق أكثر من المركبات شبه المعدنية باعتبارها أقل سمية (برون ، برنهيم ، غرومكي ، 1913 ؛ ب . سالكس Salx ور . هيليغ ، 1920) . إن القصور القلبي مع الأوديمة (الاستسقاء) هو المؤشر الرئيسي . وزرق هذه الاملاح يتسبب بغزارة من عدة ليترات مع ابعاد مادة كلورية وصودية ، واعطاؤها غير منصوح به في كل حالات أمراض الكلية .

في سنة 1950 اكتشف روبن وكلاب الاسيتازولاميد ، الذي يتمتع بخصوصية أساسية انه كابح للكربوانيدراز . وهذا الكبح يؤدي إلى اخراج متزايد للسوديوم والماء ويزيد في الادرار البولي القلوي . ويستعمل هذا المدر ضد القصور القلبي مع الأوديمة وضد الاصابة القلبية الرئوية المزمنة .

إن الكلوروثيازيد الذي ركب سنة 1956 من قبل نوفالو وسبراغ ، والايدروكلوروتيازيد ، المركب سنة 1959 من قبل آ . ل . كورنيش ، والايدروفلومي ثيازيد ، المركب من قبل فورد ونيكل سنة 1959 هي مدرات للبول قوية قليلة السمية ، تستعمل في كل أنماط الاوديمة ، ولكنها تتطلب مراقبة واعية بحيث يمكن اكتشاف ومعالجة الاضطرابات التحليلية المحتملة .

V ـ الاستطباب الفيزيولوجي

الهورمونات ـ إن المعالجة بالهورمونات تتسع بدون توقف وتقدم كل يوم انجازات جديدة . استخدم التطبيب الهرموني منذ سنوات ضد الميكسوديم (الخَزَبْ أو استسقاء لحمي ، مرض جلدي ناشيء عن قصور الغدة الدرقية) ، والسكري ومرض اديسون والقصورات الاخرى الصمائية . ويكتمل هذا التطبيب يوماً بعد يوم . وتتولد أساليب جديدة لاعطائه مثل : انسولين ذو مفعول متأخر ؛ الزرع الهرموني (ديسلي وباركس ، 1937 ؛ بيشوب ، 1938 ؛ ثورن وفيرور ، 1940) ، سائل بلوري هرموني (ميشر ، ماير ، غاش ، 1944) ومفعولها وسط بين مفاعيل المحاليل الزيتية والمحاليل المزروعة . ان المستحضرات الهورمونية المعروفة سابقاً هي أفضل تعاطياً .

ومن ذلك مثلاً الانسولين ، المكيف بمرونة مع الاحتياجات المتغيرة في الجسم . ان تعاطي الانسولين حالياً يحمل على معالجة سكري الطفل والشاب وكأنّه مرض صمائي (مان وماغاث Magath ، 1923 ؛ سوسكين وليفين ، 1940 ؛ غست ، 1947 - 1955) .

وهو يتيح للشاب المصاب بالسكري أن يعيش حياة شبه عادية بشرط ان لا تظهر فيما بعد اشتراكات انهيارية . وفي مواجهة السكري السمني الذي ظهر بعد أربعين سنة ، اذا بقي الانسولين ضمن بعض الشروط سلاحاً لا بديل له ، فاننا نمتلك اليوم استطباباً جديداً . فمنذ التثبت العيادي الذي قام به جانبون سنة 1942 وهو يراقب حالات نقص السكري (هيبوغليسميك) عند المصابين بالتيفوئيد والمعالجين بالسولفاميد مع التيازول ، وأعمال لوباتير التجريبية سنة 1942 ، والمحاولات الأولى العيادية التي قام بها فرانك وفوكس سنة 1955 ، وبرترام سنة 1955 ، اكتسب السولفاميد المنقص للسكر مركزاً ثابتاً في استطباب السكري . ثم ظهرت أدوية منقصة للسكر جديدة ، مشتقة من الغوانيدين ، وبدت مثيرة للاهتمام ، شرط أن تكون جميعاً مخصصة لبعض أنواع السكري المسمى بالسكري الحساس ضد السولفاميد .

وتم استعمال هورمونات معزولة أو مركبة بشكل شائع مثل الغونادوتروفين ، والكوريونيك ، والسيريك ، وهورمونات غونادوتروب ، وبرولاكتين ، والتيريوستيمولين والاوسيتوسين ، والبريسين أو مستخرج ما وراء النخامية ، والاوستراديول والاوستروجين التركيبي والبروجستيرون والتستوستيرون إلى آخره . وفي المستقبل ربما استعمل هورمون سوماتوتروب فعال .

كل هذه الهورمونات النقية الحاصلة بالاستخراج أو بالتركيب تقدم منافع كبيرة . فهي تصحح اضطرابات النمو ، وتقوم الضمور الولاديّ (الهيبوتروفي) ، وتقضي بصورة مؤقتة على اعراض الزرب التفه ، وتمارس أثراً حسناً ضد مجموعة الاعراض الدالة على نقص أو زيادة الهورمونات

الانثوية ، وتوقف النزيف المهبلي ، وتجمد بصورة مؤقتة تفاقم السرطان الثدي وفي البروستات ؛ ولكن بسبب نشاطها الكبير فهي قد تؤدي أيضاً إلى كوارث إذا لم تطبق بوعي زائد .

وإذا كان التقدم الحالي في معرفة هورمونات الدرقية ، لم يغير بشكل محسوس معالجة الميكسوديم ، فإن معالجة حالات الضمور أو الإنتفاخ الدرقي لم تبق على حالها . ان المعالجة بالجراحة كاستئصال الغدة الدرقية جزئياً أو كلياً ليس العلاج الوحيد في الحالات الخطرة من مرض بازيدو . ونحن نمتلك إضافة إلى اليود المشع معالجة رئيسية للمرض . ولكن اكتشاف المضادات ضد الدرقية التركيبية جاء أيضاً يضيف إلى معالجة تضخم الدرقية اضافة مهمة .

ولد هذا الاكتشاف من ملاحظات شسني ؤمارين سنة 1928 ومن ملاحظات ف . بلوم (1938) حول التضخم البالغ في الجسم الدرقي مع نقص في الافراز ، لدى الحيوانات التي تتغذى فقط بالملفوف والصليبيات . في سنة 1943 حصل أ . ب . استوود على النتائج الأولى لمعالجة مرض بازيدو بمواد ذات مفعول مضاد للدرقية مثل الثيوري والثيوراسيل . وبعد ذلك استعيض عن هذه المواد ، في الاستطباب ، بمواد أخرى مضادة للدرقية أقل سمية بكثير وكانت نتائجها الاستطبابية ممتازة في أغلب الاحيان .

إن التقدم الاكثر بروزاً في مجال الاستطباب الهورموني هو التقدم الحاصل بفضل الافراز القشري فوق الكلية (راجع الفقرة IV من الفصل السابق) . في سنة 1937 بيّن م . ستيجر وت . رايخشتاين التأثير الحاسم لمادة ديزوكسيكورتيكو ستيرون على أيض الماء والملح وتأثيرها الاستطبابي في مرض اديسون . وفي 13 نيسان 1949 قدم هنك وكندال وپولي وسلوكومب للمؤتمر الدولي للامراض الروماتيزمية ، ملاحظات ستة عشر مريضاً مصابين بداء المفاصل المستعصي والمتطور ، والذين زالت اشارات المرض عنهم في عدة أيام بتأثير من الزرق العضلي لمئة مليغرام من الكورتيزون في اليوم . وتم الحصول على نفس النتيجة على أثر زرق مادة ادرينو كورتيكوتروفين النخامي (A. C. T. H) التي تحفز مباشرة افراز الكورتيزون بواسطة الغدة القشرية فوق الكلية .

وقد لاحظ هؤلاء الباحثون ان التهاب المفاصل العضال المتفاقم، وهو مرض ميؤوس منه نتيجة عضاليته ، وعدم قابليته للشفاء ، يمكن أن يزول تماماً بفعل الحمل أو بفعل الاصابة باليرقان . وتميز هنك بأنه أكد وجوب العودة إلى نشأة هذا الشفاء ، وانه بسبب تدخل عامل بيوكيميائي ، ذي طبيعة هورمونية ، مشترك بين الجنسين ، ومن شأنه أن يؤثر على تطور الروماتيزم . وظن ان هذا العامل هو جسم بالحوامض الصفراوية وانه ينتمي بدون شك إلى افرازات الغدة فوق الكلية ، وبناءً على نصائح كندال خطرت له فكرة استعمال الكورتيزون في معالجة التهاب المفاصل الحاد المتفاقم .

أضيف إلى الكورتيزون الهيدروكورتيزون ، مركب F لكندال ، وهو يمثل الهرمون الفيزيولوجي . وانطلاقاً من هذا الهرمون ، وبالتركيب ، أمكن الحصول على مركبات مختلفة ناشطة جداً .

وأهم هذه الاجسام هي الـ 9 ألفا فلورو- هيدروكورتيزون (مركب F. F. ، فريد وسابو

1955) ؛ ثم الدلتاكورتيزون أو بريدنيزون ، أو ميتا ـ كورتاندراسين ، الاكثر حيوية من الهيدروكورتيزون ، والخالي من عامل حبس الماء والملح وخسارة البوتاسيوم (وهو يحل اليوم محل الكورتيزون في معظم حالات وصفه) ؛ والدلتا هيدروكورتيزون (بردنيسولون ، أو ميتاكورتاندرالون) ، وهو فعّال كالدلتا كورتيزون ؛ والدلتا 1 فلوروهيدروكورتيزون (ميلر ، 1955) ـ وهو لا يختلف عن المركب .F.F الا باضافة اتصال مزدوج ـ ما يزال حتى الآن تحت الدرس ، والذي تبدو آثاره المضادة للالتهاب أقوى من مفاعيل الهيدروكورتيزون ؛ و a9 فلور و a16 متيل دلتا ـ هيدروكورتيزون أو ديكسا ميتازون ، الذي شاع استعماله .

وإذا كان اكتشاف هنك وكندال يقدم علاجاً لمرض الروماتيزم بشكل باهر ، فسرعان ما تبين ان هذا الدواء فعال أيضاً في أمراض كثيرة أخرى : فهو يوضح ولادة بقيت غامضة لمدة طويلة ، لسلسلة من الأمراض ، كما أتاح تجميع امراض الكولاجين [المنتجة للهلام] . ان الكورتيزون والدلتاكورتيزون و .A. C. T. H ، ليست فقط هورمونات بروتيدية غلوسيدية تمارس أثراً هدمياً على البروتيدات ، وأثراً كالذي يحدثه النيوغليكوجينيز على حساب البروتيدات ، ويسهل تكديس الشحوم ، وحبس الماء والصوديوم وضياع البوتاسيوم ؛ بل انها جميعاً تقلص حجم الاجهزة اللمفاوية مما يسبب نقصاً في اللمف ونقصاً في الايوزين ، وتمارس أثراً مضاداً للحساسية ، وتكبح بعض الانزيمات ، وتمحو المفاعيل الالتهابية للكولاجين . وهكذا نفهم تعددية عملها الاستطبابي .

حتى سنة 1950 لم يكن متوفراً من أجل معالجة مرض اديسون الا العلاج بـ ديزوكسي كورتيكوستيرون ؛ وبقي شفاء المرض ضعيفاً . أما اليوم فقد أصبح الكورتيزون محور العلاج : فبرشامتان أو ثلاث من الهيدروكورتيزون كل يوم تكفي لاعطاء كل مظاهر الشفاء ، دون أن يكون ضرورياً اتباع نظام غذائي غني بالملح ، انما مع مساعدة خفيفة ومتقطعة من ديزوكسي كورتيكوسيترون . ان الكورتيزون بكميات مكثفة ينتزع من براثن الموت المرضى ضحايا القصور فوق الكليوي الحاد ، الذي يأتي بعد مرض اديسون أو ما يسمى بالاولي اثناء حالة وبائية خطيرة أو عل أثر تسمم الدم . ويتيح الكورتيزون بقاء المريض في حالة القصور فوق الكليوي اثناء أو بعد الاستئصال لما فوق الكلية المزدوج . ويمارس الكورتيزون أثراً جيداً بخلال نقص في النشاط ما فوق الكليوي الولادي (ويلكنس ، 1950) .

وفوائد هذا الاستطباب الهورموني قد تأكدت أيضاً في بعض حالات التهاب الفقرات ، وفي الروماتيزم الفقري ، وفي الروماتيزم المفصلي الحاد وفي مرض « ستيل » وفي القراض (مرض جلدي) المنتشر ، وفي حالات تيبس الجلد وتقبض العضل وفي التهاب المفاصل العقدي ، وباختصار في معظم امراض الكولاجين . ويشكل الهيدروكورتيزون المعطى بشكل أبر في الشريان أو في المفاصل علاجاً مسكناً لبعض التهابات المفاصل .

إن الأثر المضاد للحساسية الذي يحدثه الهورمون يفسر فعاليته في مرض الربو والشري أو الطفح الجلدي ، والاستسقاء أو اوديمة كنكي . وضد أمراض الدم وتكاثر الكريضات ، والاورام في لب العظم وورم الكريضات ، يمارس الهورمون أثراً كابحاً لا يهمل . وهو فعال جداً في

حالات فقر الدم المكتسبة وفي بعض حالات احمرار الجلد التسممية التخثرية . ويمارس أثراً حسناً في حالات التهاب الكلية الدهني الخالص واثناء بعض حالات تليف الكبد واليرقان الوبائي الخطير . ويقدم الهورمون مساعدة مهمة لمعالجة التهاب شغاف القلب المستعصي . وهو مفيد في حالة السل الالتهابي الحاد ، مثل السل الجلدي المقرون بالحك ، الحاد ، والجُناب (ذات الجنب) ، والتهاب السحايا السلي ، ويقدم عوناً في المعالجات بالمضادات الحيوية . وشُرع حتى في تطبيقه بنجاح ضد السل الرئوي المقرح الموضعي ، المستعصي ، شرط قرنه بالمضادات الحيوية المضادة للسل ، وافساح المجال أمام المضادات لكي تفعل فعلها . واعطاء الهورمون عن طريق ، أما الـ A. C. T. H وأما هيميموكسينات الهيدروكورتيزون والصوديوم ، يتيح انقاذ مرضى موبوئين بعسر التنفس ، كانوا في الماضي مرشحين لموت سريع . ان الاستعمال الموضعي للكورتيزون أو للهيدروكورتيزون يبدو في أغلب الاحيان مفيداً في امراض الجلد ، بشكل مرهم (پوماد) ، وفي أمراض العين بشكل قطرات .

ويجب أن لا ننسى ان استخدام هذه المستحضرات الهورمونية أظهر ازعاجات ومخاطر (تفاقم في الحساسية القشرية ، سوء أو ظهور حالات مرضية ، اضطرابات هضمية ثقوبية ، حوادث تخثر ايضي ، صدمات ، اضطرابات نفسانية ، ضمور في الغدة فوق الكلية) وان الافراط فيه تسبب احياناً بكوارث تعزى إلى اعطائه بشكل غير حذر أو وفقاً لتعليمات مفرطة .

إن الاستطباب بالهورمونات القشرية فوق الكليوية يجب أن يحتفظ به للحالات الخطرة حيث لا يمكن استبداله بغيره ، أو للأمراض ذات الاجل القصير حيث لا يكون الهورمون خطراً ، بسبب قلة المعايير المعطاة . ان هذه الاحتراسات الضرورية يجب التذكير بها ، اذ من المؤكد ان الاستطباب بالهورمونات فوق الكليوية يمثل مع البنسلين احد الاكتشافات الرئيسية الحديثة في الطب وفي الاستطباب .

الفيتامينات - نظراً لكثرة وجود الكساح عند الاطفال الرضع لا بد من اعطائهم عوناً فيتامينياً في السنة الاولى من أعمارهم . ويستعمل الفيتامين D_2 أو كالسيفيرول (وندوس ، 1927) بمعيار وقائي يتراوح بين 500 و 1000 وحدة في اليوم ؛ أما المعيار العلاجي فيتراوح بين 5 آلاف وعشرة آلاف وحدة في اليوم طيلة عشرة إلى عشرين يوماً على الاقل .

وحدث تقدم باستبدال الوصفة السابقة بمعيار مكثف وحيد من فيتامين D_2 (هرناب ، بيشوف ، 1939) ولكن يجب أن لا ننسى المخاطر المخيفة التي يتعرض لها بسبب المعايير المفرطة في الكالسيفيرول . ويجب أن لا ننسى ان اشعاع الشمس أو الاشعة فوق البنفسجية تتيح للجسم أن يركب الفيتامين D وان المسكن الصحي مع نظام غذائي موسع وباكر ، هو أفضل واقٍ من الكساح . ان الفيتامين D ما يزال يستعمل مضافاً إلى الاملاح الكلسية ضد الكزاز الحاد ، وضد الكزاز العُضال ، ويستبدل بـ : « ديهيدرو - تاشي - ستيرول » (A.T.10 أو كالكامين) .

واعطاء الثيامين (فيتامين B_1) ، مقروناً بتصحيح النظام الغذائي القاصر يلعب دوراً أساسياً في معالجة نقص الفيتامين B_1 ولكن الثيامين ، الذي يتدخل في أيض هيدرت الكربون يستعمل بشكل خاص ضد التهاب الاعصاب ؛ والفيتامين B_2 (ريبوفلافين) يستعمل ضد التهاب الشفاه

(مدام راندوان وسيمونيه ، 1924 ؛ غولد برجر) ؛ والفيتامين B_3 (فيتامين P. P. اونيكوتيناميد) يستعمل في النقص الايضي (غولد برجر ، 1925- 1935 ؛ سبايس 1937) ؛ والفيتامين B_4 أو ادينين يستعمل ضد زوال الخلايا البيض ، والفيتامين B_5 أو حامض بنتوجينيك يستعمل لمداواة الشيب ، والفيتامين B_6 أو بيريدوكسين أو ادرمين يستعمل ضد مرض الأشعة ، وبعض اضطرابات الاطفال ذوي الحساسية نتيجة نقص الفيتامين B_6 ، وضد التسمم بالازونيازيد .

إن الفيتامين C يشفي من مرض الاسقربوط أو مرض عدم التوازن الغذائي . ولكن نقص الفيتامين C لا يفسر كل شيء عن الاسقربوط : فالنقص في عامل آخر هو P أو عامل الامتصاصية الشعرية يلعب فيه دوراً مهماً ، والفيتامين P يجد فيه أحد مؤشراته الرئيسية .

والفيتامين A أو المضاد ضد النقص في شفافية القرنية ، هو فيتامين يذوب في الشحم مثل الفيتامين D ويعطى غالباً معه أو يعطى بشكل زيت كبد سمك الراقود عندما تظهر دلائل قصور تلحظ لدى الرضع .

والفيتامين K يوصف من حيث المبدأ في كل حالات انخفاض معدل التخثر تحت المعدل الطبيعي الذي يتراوح بين 75 بالالف و 100 بالالف .

فاذا أعطي الفيتامين K بشكل زرقات وريدية أو عضلية أو عن طريق الفم فانه بخلال 24 إلى 48 ساعة عودة وقت التخثر إلى طبيعته . وهو يوصف بشكل أخص في الامراض الكبدية وفي العمليات الجراحية وفي حالات اليرقان المستمر وفي حالات التليف ، واثناء مرض النزيف عند الوليد الجديد . وهناك في أغلب الاحيان فائدة من ضمه إلى الصفراء أو إلى الاملاح الصفراوية .

نقل الدم . عوامل التخثر وعوامل ضد التخثر ـ ان نقل الدم هو معالجة ذات أهمية حيوية . ولم يكن ممكناً إلا منذ سنة 1900 . وهو تاريخ قرر فيه لاندستينر وجود ملزنات مماثلة وفئات من الدم (راجع الفقرة II الفصل II من القسم الرابع). وبعض الصعوبات التقنية قد ازيلت بفضل اغوت Agote ولو يسُهن Lewisohn وهوستن Hustin ، الذين بينوا سنة 1914- 1915 فائدة استعمال سيترات الصودا للحفاظ على عدم تجلط الدم المسحوب .

وفي السنوات الأخيرة مكنت التحسينات في طرق حفظ الدم ، وخاصة تجهيز محلول السيترات اسيد المحتوي على دكستروز المسمى A. C. D من تخزين الدم ومن استعماله ضمن مهل قد تصل إلى 21 يوماً بعد سحبه . وأخيراً في سنة 1940 ، اكتشف لاندستينر وونر العامل Rh ففتح فصل التمنيعات المماثلة التي تعقب نقل الدم ، وأتاح فهم أوالية عدد كبير من الحوادث الغامضة حتى ذلك الحين ، ثم استباقها .

إن نقص الدم المفاجىء والخطير بفعل النزيف ، أو الصدمة ، أو الصدمة الجراحية ، أو الحروق هو المؤشر الرئيسي والملح الذي يستوجب اعطاء الدم . ونقل الدم يوصف في حالات الأنيميا الخطيرة وفي حالات نقص التخثر ، وفي الامراض النزيفية نتيجة اضطراب في التجلط . وتتطلب حالات النقص في البروتين نقل الدم وخاصة نقل البلاسما والالبومين . ويجب أن لا ننسى أنّ كل نقل للدم يتضمن خطر وقوع حادث قد يكون مميتاً (عدم توافق الدم ، الضغط في الدورة

الدموية ، رفض البلاسما ، امراض منقولة) .

سحب الدم ونقله بآنٍ واحد ، طبقت هذه الطريقة سنة 1946 من قبل ولرستين ووينر ، ودياموند ثم من قبل بسي وس . بوهوت ، وتقوم على سحب كمية كبيرة من الدم (4 إلى 8 ليترات من الكبير ، و 500 غرام من الوليد الجديد) ، مع اعطاء كمية معادلة من الدم الطبيعي بذات الوقت . وتوصف هذه العملية في حالتين رئيستين حالة مرض فساد الدم عند الوليد الجديد وحالة قصور كليوي بسبب انحباس البول مع انحلال في الدم .

يبقى الدم أفضل عامل لتوقيف النزف ، ولكن يشترط في استعماله بعض الشروط : حالات تولد التليف ، حالة انحلال الليف الحادة ، حالة النزف ، التطبيقات الموضعية ، نقص الفيتامين K ، مختلف التجزيئات التي تصيب البلاسما .

واستعمال نقل الدم بين الناس قد توضح بخلال الحرب الاخيرة ، ثم توسع استعماله في العمليات الجراحية وفي الحالات الطبية زمن السلم . والحاجة إليه ، وتطوره أكيدان عندما يكون الغد غير مضمون ، ولهذا فهو يتمتع أي نقل الدم بمصداقية فرضته عالمياً مع سلسلة نتائجه الشفائية ، في كل البلدان ، ومع ما يتطلبه تطبيقه من تحفظات ومن حرص قد يكون ثقيلاً . إن الاستطباب بنقل الدم يتمتع بفعالية معترف بها بالاجماع ، وهو يتجاوز النشاط العادي للأطباء الممارسين ، ويتطلب جهداً مباشراً أو مدعوماً من الجماعة كلها . وهو يقتضي ـ لكي يطبق حق التطبيق ـ مساندة السلطات العامة ، وليس فقط تنظيماً تقنياً مكلفاً ، بل أيضاً عملاً سيكولوجياً .

في سنة 1923 أنشىء في فرنسا من قبل الاساتذة غوست ، ليفي ـ سولال وآ . تزانك ، اول مركز لنقل الدم ، أدى في سنة 1928 إلى بناء مؤسسة رابا ـ دوتش في مورت أو المركز الوطني لنقل الدم والبحوث الدموية . ان مثل هذه المراكز كانت قليلة التطور في فرنسا قبل سنة 1939 ، رغم اجراء بعض عمليات نقل الدم في كل الاراضي الفرنسية . وادت الجهود المشتركة التي بذلها العسكريون والمدنيون في سنة 1940 ، إلى إنشاء مؤسسة تقوم بشكل خاص على استعمال الدم المحفوظ ، المعد في الداخل والمرسل إلى مختبرات الجيش . ولكن نقل الدم لم يزدهر إلا بعد « التحرير » ، عندما اهتمت الجيوش الحليفة وبينت فائدة استخدام الدم أو مشتقاته في العديد من الجرحى ، خارج حالات الانيميا النزفية . في سنة 1945- 1946 تم انشاء مؤسسات لنقل الدم وفقاً لتنظيم إداري دقيق .

والدم الكامل المحفوظ بقي ويبقى السلاح النقلي الامثل . في معظم الحالات يطلب اليه أن يكون ناقلاً للكريات الحمراء التي احتفظت بخصائصها البيولوجية .

إن البلاسما السائلة « المثبتة » بشتّى المستحضرات وخاصة بالغلوكوز ، لا تعيش الا بمقدار ، ولذا يتوجب استعمالها بسرعة . وهي دائماً عرضة لمفاجآت غير محمودة . والبلاسما المجمدة هي مستحضر ممتاز يجمع بين الاقتصاد والأمان ولكن شروط حفظها تحد من امكانات تخزينها بحيث تقتصر على قدرة الأجهزة . فضلاً عن ذلك كل تغير في الحرارة يخربه .

وأكثر ما يمكن ضمنه هو البلاسما المليفلة ، فهي بالرغم من سعر كلفتها المرتفع ، أفضل

طريقة للحفظ وللتخزن طويل الأمد .

وحتى يومنا هذا لم تنجح أية طريقة لتعقيم البلاسما وعدوى الفيروس الناقل لليرقان المماثل تبقى خطراً قائماً .

إن مشتقات البلاسما المحصول عليها بواسطة أساليب التكسير ، وهي أساليب ابتكرها كوهن ، لم تسد في الواقع الامال الاولى التي علقت على هذه الاساليب منذ عشر سنوات . فهذه الطرق تقوم على تقنيات صعبة ومكلفة ، تحتجز كمية كبيرة من البلاسما من اجل معالجات استثنائية . ان الحصول على الالبومين وعلى الغلوبلين ، ويمثلان في الوقت الحاضر الاجزاء الاكثر استعمالاً ، يعطي النتائج الاكثر اقناعاً

الا ان الاعمال الأخيرة التي قام بها كوهن أدت إلى وضع طريقة مفيدة تتيح تكسير أو تجزئة سريعة تؤدي إلى مشتق بلاسمي غير متليف وغير ليبيدي (دهني) هو « البروتين الثابت السائل » ، القابل للتعقيم بالحرارة ، مما يتيح توقع ابطال فيروس اليرقان .

وبفعل تطبيقاته الطبية دخل نقل الدم ، الذي كان بالامس رمز الضرورة ، في العديد من الحالات المرضية وشارك بالتالي في كل الامراض .

إن المداواة لمحاربة التخثر جاءت لتثور تطبيب العديد من الامراض حيث تسد الجلطات الوريدية والشريانية الاوعية ، كما تحمل ضمناً تفاعلية الانسداد الخطير . ولذا فان المداواة تتطلب مراقبة واعية (اختبار كويك ، اختبار تخثر اورن ، اختبار تقبّل الهيبارين) .

في سنة 1916 اكتشف ج . مك لين الهيبارين الذي يقاوم حالات التخثر . واستعيد عمله واستكمل من قبل و . هـ . هويل (1918) . وفيما بين 1918 و 1946 اوضح جوربس ثم ج . ب . جاكس ، وشارل صيغة الهيبارين ، وعزلوه بشكل نقي وطبقوه في العيادة على معالجة حالات التخثر .

وتسلسل اكتشاف المعالجة الثانية ضد التخثر من سنة 1924 حتى أيامنا . اتاحت اعمال كمبل ولينك (1941) عزل مواد مضادة للتخثر تم تركيبها سنة 1941 (ستاهمان ، هوبنر ولينك) : انها الديكومارين (مضادات للفيتامين K) التي طبقت فيما بعد لمعالجة حالات التخثر (ديكومارول أو 3-3ميثيلين مزدوج ـ 4 هيدروكزي كومارين وفينيل ـ انداني ـ ديون) .

هذه المعالجات ، خاصة بواسطة الديكومارين تتطلب مراقبة عيادية وبيولوجية (معدّل التخثر واختبار تقبل الهيبارين) بسبب مخاطر النزف . ومؤشراتها الأساسية هي حالات التخثر الوريدي وحالات التخثر التاجي .

الادوية ضد الحساسية ـ إن مسألة الدور الفيزيولوجي المرضي للهيستامين قد طرحها دال وليدلو سنة 1910 ودرس لويس Lewis وغرانت اثر الهيستامين الشعري عند الانسان دراسة مشرفة . وسعت البحوث اللاحقة التي قام بها لويس سنة 1927 ، ومانورنغ ، بارتوش وفلدبرغ ، بارسوم وغادوم ، انغار ، بوفت وبارونت ، تينل ، إلى اثبات حقيقة تدخل الهيستامين اثناء حالات

الحساسية المفرطة والحساسية العادية . وعندها تم التساؤل عن امكانية كبح الهيستامين بمستحضر قادر على صد مفعوله بشكل خاص .

وتم تركيب أول مستحضر مشتق من الانيلين واسمه N ديمتيلامينو اتيلانين N انترغان أو 2339RP) من قبل كوشت، مونييه وبوفييه، ودرسه هالپرن (1942)، وبدا فعالاً ومقبولاً . وفيما بعد قام د . بوڤيه وولهرت بتركيب ـ من بين مشتقات البيريدين ـ جسم بدا نشاطه المضاد للهيستامين اعلى من مفعول الانترغان ، وعرف تحت اسم نيوانترغان أو 2786 RP . وفيما بعد تم صنع مشتق من الفينوتيازين 3277 RP أو فنرغان الذي بدا مفعوله أعلى من مفعول بقية الادوية المضادة للحساسية ، كما ان سميته اقل .

وبعد الفنرغان ظهرت سلسلة من مضادات الحساسية ، تركيبية ، اتسع مجالها بسبب خصائصها الشفائية والمسكنة والمقنعة نفسانياً وأيضاً بفعل اكتشاف الصفة الحساسية في العديد من الامراض .

وكل هذه الادوية تستعمل ضد المظاهر الجلدية على عدم التقبل (الطفح ، الحكاك ، عقص الحشرات ، الاكزيما ، وجميع الدلائل الجلدية الدالة على عدم التقبل للادوية) وضد مختلف مظاهر الحساسية كالربو واشباهه .

الاستطبابات الجديدة للجهاز العصبي ، والمداواة الكيميائية للحالات النفسية . ـ ان الادوية العصبية المسكنة تمارس اثرها لا على الجهاز المستقل فقط ، بل ايضاً على الجهاز العصبي العضلي المخطط مثل الدواء المسمى كورار، وعلى عناصر الجهاز العصبي المركزي مثل الكلوربرومازين .

في سنة 1935 توصل كنغ إلى عزل مركّب كيميائي محدد هو D ـ توبوكورارين ، مزود بخصائص فيزيولوجية ثابتة تتيح التحكم بالكورار وتبسطه . ودلت دراسة طويلة عن المواد الكورارية (المخدرة) التركيبية على امكانية الوصول الى اكتشاف العقار تري ـ يودو ـ اتيلات دي تري ـ (B ـ ديتيل أمينو ايتوكسيل) 1-2-3 بانزين ، من قبل مدام لسترانج من جهة ومن قبل د . بوڤيه (فلاكسيديل) من جهة اخرى .

وهناك ثلاثة مستحضرات تركيبية توصل اليها هازارد ومعاونوه : احد هذه المستحضرات هو دي بروموبنزيلات من M-N′ ديثيل امينو اثيل بيبيرازين (إيزوكورين) . وتستعمل هذه المستحضرات عن طريق الوريد أو العضل أو المخرج . في سنة 1941 خطر لبينيت لاول مرة ، فكرة استعمالها للقضاء على المرحلة التوتّرية في الصدمة الكهربائية . سنة 1942، نشر غريفيث أوّل إحصائيات مهمّة حول التسكين بالكورار في العمليات الجراحية ، مما يمكن إجراء العمليات على العضلات المتقبضة ؛ ولكن هذا التسكين لم يستعمل في مثل هذه الحالات إلا إذا توفرت المعدات الضرورية لإعطاء الأوكسيجين في أنبوب القصبة ، والمعالجة بالأوكسيجين ، والتنويم في حلقة مغلقة .

ان التسكين بالكورار قدم خدمات حقيقية في كل العمليات الجراحية التي تقتضي انحلالاً

عضلياً متقدماً جداً مما يتيح انقاصاً للكميات الكبيرة من التخدير الضرورية لاجراء عمليات جراحية طويلة المدة . وسرعان ما دخل التخدير بالكورار الى الطب حيث استعمل في بادىء الامر ضد التيتانوس ، كما استعمل ايضاً ضد العديد من الاصابات العصبية المعقدة والتي لها علاقة بالتقلص العضلي .

وفي الوقت الحاضر يستعمل بشكل واسع ، الكلوريدرات دِ كلورو 3 (دي ميتيلامينو 3 ، بروبيل) - 10 - فينوتيازين ، أو كلور برومازين ، المبتكر في فرنسا عبر اعمال مختبرات RP ، اثناء البحوث المتبعة بشكل منهجي من اجل استحداث الشلل العصبي الانباتي ، يستعمل لوظيفة ادرينولية ويستعمل كمسكن ؛ ويتميز ايضاً بخاصية تحسيس الخلية العصبية في حالات التخدير العام ، وفي حالات التنويم ، والتسكين . ان معطلات الاحساس عند العقد (غانغليو بلجيك) ، تعطل نقل السائل العصبي عبر العقد (غانغليون) في الجهاز العصبي الانباتي ..

والمعرفة بهذه المعطلات يعود الفضل فيها الى اعمال بورن ودال (1924) ، وهانت (1926) . واكثرها استعمالاً هو : بنتامتنيوم ، هكزامتنيوم ، والبنديوميد (الذي تم تركيبه على يد ماركسر وميشر) . وهذه المواد تؤدي إلى الغاء كل توتّر وعائي ، وتسهل امكانية تنزيل الضغط الذي يلي التخدير العقدي ، اي تنزيل الضغط المراقب في الجراحة .

انه في مجال جراحة الدماغ بدت عملية تخدير العقد مفيدة مما رسَّخ استعمالها . ولكنها مستعملة بشكل شائع ايضاً في جراحة الفك الوجهي ، وفي جراحة جهاز الحركة وفي جراحة الصدر .

ويبدو بشكل خاص « السبات » الذي يلجأ إلى التخدير العصبي بالادوية الحاصل بمساعدة الكلوربرومازين المقرون بالفنرغان أو بالدولوسال ، أو بالديباركول ، أو بالبروكاين ، أو بسولفات السبارتين، وايضاً بتبريد المريض (ب . لابوريت وهـ . هوغينارد ، 1954) .

وهناك مخدرات اخرى ومسكنات اضيفت إلى المورفين ومشتقاته .

نذكر : كلوريدرات ايزونيانيسيليتانولامين (إفادول) وهو مخدر للتشنجات ؛ نيكوتينيلامينو 1-2 ديفينيلتان (ليسبامين - سيلاغ) . والى اللائحة الكبيرة من مشتقات مانونيلوري يضاف بانتوتال ، ايزواميليتيلمانونيلوزي ، وآليل ميتيل بوتيمالونيلوري . واضيفت إلى مضادات التشنج الانترينيل وايزوكتدنـدرين أو ايزانـدريل . والى الاتروبين ، والداتورا ، والى السكوبولامين والى الهيوسين المستعملة جميعاً في معالجة مرض باركنسون اضيفت ادوية تركيبية : من مجموعة مضادات الحساسية مثل ديباركول ، بارسيدول ، باربانيت - ومن مجموعة أتروبينية، ارتان وكيمادرين (وهذا الاخير عزل سنة 1951 من قبل د . و . ادمسون ، وباريه وفيلكنسون) .

ان النهضة الحديثة للتطبيب النفساني بالكيمياء كانت مزدهرة إلى درجة انها تسببت ببحوث ناشطة في مجال الكيمياء الصيدلانية ، وهي بحوث ادت إلى تحقيق انجاز العديد من المستحضرات الجديدة .

والمجموعة الاولى ، هي مجموعة نيرولبتيكية [مخدّرة عصبياً] وتنقسم بذاتها إلى مجموعتين : مجموعة الفينوتيازين ونموذجها هو كلوربرومازين (1952) ، ثم مجموعة القلويات المسماة « رو اولفياسربتينا » وخاصة الريزوربين (1954) . ويستعمل كلور برومازين بسبب مفعوله المهدىء ، بكميات كبيرة في حالات العصاب . ومن بين المشتقات الاخرى من فينوتيازين نذكر : ميتوبرومازين ، ليڤوبرومازين ، اسيبرومازين . ويعتبر الريزربين مخدراً ثميناً جداً بسبب انتحائه الشمي من الدماغ والدماغ المتوسّط ؛ ودراسته لا يمكن أن تنفصل عن دراسة سيروتونين وبواسطته يفعل مفعوله .

والمجموعة الثانية تتضمن أدوية مهدئة صغرى: هيدروغزيزين وبيناكتيزين وميبروبامات وكاربامات ميتل ـ بنتينول .

وهناك عقاران مختلفان جداً عن العقاقير السابقة اكتشفا سنة 1957 من قبل كوهن وهما : ايبريمانين وايبرونيازيد وتمارس هاتان المادتان مفعولاً خاصاً ضد حالات الانهيار وبصورة خاصة ضد الكآبة .

بين يدي الطبيب النفساني بعد الآن اسلحة كيميائية تستطيع التأثير في عدد كبير من حالات الاحباط الكئيب أو لا . ورغم ذلك فإن نشاطها لا يعتبر دائماً كافياً ، ثم انها عند التطبيق تستدعي الحذر ، لأن سوء تقديسر خطورة حالة احباط يستدعي مسؤولية الطبيب تجاه خطر الانتحار . وهناك العديد من حالات العصاب تقتضي ، لجهة خطورتها ، وسائل تطبيبية أخرى ومنها العلاج بالنوم الذي نتج عن اعمال باڤلوف ، ومنها طرق الصدمة : صدمة الانسولين (ساكل ، 1934) وصدمة القلب ميدونا Meduna (1934) ، والصدمة الكهربائية لسيرليتي (1937) ، وصدمة الملاريا (مالاريك) لـ ج . ڤون واغنر ـ جوريج (1917) .

VI ـ تقنيات الانعاش

ولد الانعاش من اعمال الباحثين الاميركان وخاصة غامبل حول الوسط الداخلي والتوازن المائي والكهربائي في الجسم . ويتوجب الانعاش حكماً في حالة اختلال التوازن الحاد في الوظائف الحيوية الرئيسية : فقد الماء، فقد التوازن الكهربائي ، الاستعداد للتسمم بالحوامض أو بالقلويات ، حالات الوهن القلبية الوعائية . الضعف الخطير والاضطرابات النفسية . ومعروف هو نجاح مجمل هذه التقنيات التي تحيط بالعمل الجراحي وتقلص بشكل فريد مخاطر الصدمة الجراحية ، والامراض التي تأتي بعد الجراحة ، وتؤمن سلامة تجعل التدخلات الجراحية الأكثر جرأة ممكنة .

ان الانعاش الطبي اصبح ايضاً طموحاً وفعالاً مثل الانعاش الجراحي ، وهو يبدو واحداً من المكتسبات الاكثر قيمة في طب السنوات الأخيرة . كل يوم ينجو مرضى كثيرون بفضل اضافة المعالجة التي تعيد تاهيل الكتلة الدموية وتقوم من جديد التوازن الفيزيولوجي اضافة إلى معالجة اسباب المرض .

ويتيح الانعاش احياء مرضى محتضرين ولكنه لا يستطيع الارتجال ويجب ان يجرى في مركز يعمل فيه فريق طبي ، تعاونه تجهيزات خاصة وتقنيات مختبرية ملائمة . وهو معالجة طوارئية في حالة وقوع انهيار قلبي وعائي أو حالة صدمة أو احتراقات خطيرة ، أو حالة تسمم ثقيل ، أو يرقان خطير ، أو كوما (غيبوبة مستمرة) ، أو مرض عام قاس .

والطريقة الافضل بشكل خاص في حالات تسمم الرضيع ، تحقق حلاً علاجياً ممتازاً لحالات فقد الماء بشكل تسمم . وكانت هذه الحالات في السابق مسؤولة عن موت الكثير من الاطفال . وفي سنة 1938 بادر كاريليتز وشيك إلى ابتكار تقنية الحقن المتواصل عبر الوريد في هذا السن . لا شك ان دور المضادات الحيوية قد أصبح معروفاً ضد هذا المؤشر السببي للمرض القائم على العدوى دائماً ، ولكن الانعاش عن طريق الوريد ضروري في الغالب في الاشكال الاكثر سوءاً .

وهناك تقدم رئيسي آخر تحقق من جراء معرفة اهمية الانعاش عن طريق التنفس . لا شك ان المعالجة بالاوكسيجين كانت معروفة منذ سنوات عدة : وتعتمد اليوم المعالجة بالاوكسيجين المكثف تحت خيمة معالجة تخدم كثيراً خاصة في حالات الاصابة القصبية الرئوية الحادة المقرونة بعسر التنفس عند الاطفال الصغار . ولكن هذه التقنية لا تكفي في حالات القصور التنفسي ذي المنشأ العصبي كحالات الكساح والتيتانوس التي وضعت من اجلها تقنية الرئة الفولاذية ، وتقنية لاسن .

ان « الرئة الفولاذية » هي جهاز تنفسي يعمل عن طريق الخارج ، وهي فعالة ضد الشلل بين الاضلاع من الغشاء الحاجز ، شرط ان لا يكون المريض يعاني من اضطرابات تنفسية . عند وقوع وباء الكساح الاطفالي الكبير في كوبنهاغن سنة 1952 ، وضع لاسن علاجاً جديداً يقوم على ثقب القصبة الهوائية مما يتيح التخفيف عن هذه الاخيرة وعن الشعيبات ، يتبع ذلك ادخال انبوب ، في القصبة مع تنفس مساعد اما باليد واما بواسطة جهاز بالنفخ المباشر للهواء في القصبة (انغشتروم ، بانغ) . وقد خفضت هذه المعالجة بشكل ضخم نسبة الموت في الحالات العالية من شلل الاطفال ، انما لا يمكن تطبيقها الا تحت مراقبة مستمرة وفي مصلحة اشفائية متخصصة .

وبخلال توقف افراز البول بصورة دائمة مهما كان السبب (فساد الدم عن طريق العصيات ، تشقق العصيات الخطير ، الحوادث الناتجة عن النزف ، التهاب الكلية الانبوبي السام) ، تبدو ضخامة الشذوذات البيولوجية بحيث تصبح حياة المريض مهددة بصورة سريعة . وتصبح عندها الحاجة إلى تنظيف الدم خارج الكلية ضرورية : الفصد المقرون باعطاء الدم (زانك وسي ، 1945) ، التصفية الغشائية (ديروت وتانريت ، 1947) البث الامعائي ، (همبرغر ، 1948) ، كل هذه الاساليب قد أجريت بصورة دورية . ومن كل هذه الطرق المقترحة حتى هذا اليوم كان اسلوب الكلية الاصطناعية هو الاكثر فعالية .

وتطلق هذه التسمية على جهاز يؤمن دوران الدم خارج الجسم حيث يطهر الدم عبر غشاء من

السيلوفان في محلول ملحي . والجهاز المستعمل هو الجهاز الذي صممه و . ج . كولف (1940-1944) ، الذي ابتكر الأسلوب ، وعدل فيه ج ـ ب . ميريل . وفي حال الانسداد البولي المستمر تقوم عملية تطهير الكلية اصطناعياً مرة أو مرات بتصحيح الاضطرابات البيولوجية ، وتحسن المؤشرات العيادية وتتيح استمرار حياة المريض إلى ان يستعيد وظائفه الكليوية .

ان التقنية الحديثة الرامية إلى تنشئة الاولاد المولودين باكراً هي بدون شك ، واحدة من اهم التقنيات الانعاشية لانها خفضت نسبة وفيات المولودين باكراً من ذوي الاوزان التي تقل عن ألفي غرام ، من معدل 85 بالمئة إلى 35 بالمئة .

وتقتضي هذه التنشئة توفر أربعة شروط رئيسية هي : العزل الكامل والتطهير الوقائي لجهة العناية ، التدفئة ، التغذية بالأوكسيجين ، اعداد الطعام المناسب . ان نتائج تنشئة المبكرين تقع تحت رحمة هذه الشروط التنشيئية ، وتتحسن النتائج بتحسن شروط التنشئة . ان المبكر الذي ينجو من مخاطر الايام الاولى ، يزداد حظه في العيش ويصبح شخصاً طبيعياً .

وتم تحقيق جهد ضخم من اجل المبكرين ، وذلك بعد انشاء مراكز متخصصة مزودة بحاضنات متقنة يشرف عليها اشخاص مؤهلون . والمراكز الاولى لتنشئة المبكرين ، اسست في انكلترا في برمنغهام سنة 1931 ، من قبل ماري كروس ، وبذات الحقبة تقريباً ، في الولايات المتحدة في شيكاغو من قبل هس . والتجهيز بشكل مراكز حديثة للمبكرين قد تقدم بسرعة منذ الحرب العالمية الثانية وانتشر في الكثير من البلدان .

ان هذا مثل من بين امثلة للدلالة على فضائل ما يقدمه الطب الحديث للاطفال . ان قوة وسائل مكافحة الامراض مثل المستحضرات المضادة والكيميائية والتلقيحية ، وكذلك علم التوازنات الايضية والهرمونية ، وتقنيات الجراحة والتخدير والتنفس ، والدورة الدموية ، والتغذية ، وتنقية الدم اصطناعياً ، كلها يستخدمها الطب اليوم من اجل انقاذ الطفل ، في اغلب الاحيان ، منذ اللحظة التي يأتي فيها إلى العالم وأيضاً بخلال الايام الاولى من حياته عندما يكون متناهي الضعف . ان السنوات الاولى من الحياة ليست المستفيدة الاقل من الثورة الطبية التي تحقق في ايامنا .

VII ـ التطبيب بالاشعة

ولد التطبيب بالاشعة بعد اكتشاف اشعة X بقليل . وكان في بادىء الامر تجريبياً خالصاً ، وكانت المعدات هزيلة ؛ وامراض الجلد هي التي اتاحت للتطبيب بالاشعة أولى نجاحاته . وفي السابق قدم تورستنيك سنة 1899 السرطانات الاولى الجلدية التي شفيت باشعة X . ومنذ 1897 نجح ل . فروند في تشعيع فتاة صغيرة كانت تحمل توتة ملونة تمتد من ظهرها حتى رقبتها .

وبعدها توسعت محاولات التطبيب بالاشعاع فشملت الاصابات الالتهابية الانتانية والخبيثة . ومنذ سنة 1902 نجح الطبيبان الاميركيان ن . سن وبوزي في ابعاد تزايد الكريضات بواسطة تشعيع امراض العقد اللمفاوية . وفتح ج . ك . برتس يومئذ حقبة جديدة في التطبيب الاشعاعي ، حقبة

التطبيب الاشعاعي العميق وخاصة التطبيب الاشعاعي لامراض النساء .

واستعلم برتس من رونتجن الذي اخبره بتنوعية اشعة X عند خروجها من الانبوب ، فخطر له ان يصفيها عبر كثافات معدنية من اجل ان يستبعد الاشعة الطرية التي يمتصها الجلد والتي تعتبر ضارة بالنسبة اليه ، وبالتالي الاكتفاء بالاشعة القاسية الصلبة التي تستطيع الوصول إلى الاعضاء العميقة .

وعولج سرطان الثدي منذ سنة 1902 من قبل فهلر ، وتبعه بيكلير سنة 1904 . وفي السنة نفسها نشر فوفودي كورمل اول نجاح للطب الاشعاعي ضد الورم الليفي . وبين 1912 و 1920 ، عولجت سرطانات عنق الرحم ، على نطاق واسع . وقد ارتبطت هذه النجاحات الاولى باسماء ريغود وبيكلير ، فورسل وهيمان ، بيلي وهيلي ، ثم ونتز .

ولكن كانت هناك بعض الحوادث المتعددة وبعضها كان خطيراً . وقد دلت هذه الحوادث على ضرورة ملحة للبحث عن معيار أو مقياس للاشعة .

ومن حبوب سابورو ونواريه إلى المقياس اللوني للأشعة الذي وضعه هولز كنخت، إلى نظام H. E. D الذي وضعه سيتزوونتز ، فكر زيلار وفيلارد منذ سنة 1908 باستبدال قياس تايين الهواء بأشعة X. وقدم فيلارد أول تعريف فيزيائي لوحدة التأيين وسماها الوحدة V . وفي سنة 1913 بيّن السويسري كريستن الموازاة بين مفعول التشعيع ، والكمية ـ الحجم التي وصفها بانها كمية أو معيار بيولوجي .

وأدت هذه البحوث التي شارك فيها س . دوفيليه ، دان كوليز في فرنسا، هولتوسن ، غلوكر وجيغر في المانيا ، ماينورد وبراغ في انكلترا ، وغراي ، فايلا وأ . كويمبي في الولايات المتحدة ، إلى صنع أدوات جديدة للقياس وللتعريف (r) الدولي (ستوكهولم ، 1928) المعتمد من قبل مؤتمر شيكاغو سنة 1937 .

في كل هذه الحقبة كانت الاعمال الاستطبابية كثيرة .

في سنة 1904 انطلق برغوني وتريبوندو سن التشعيع النسيجي ، فاعلنا القانون الذي يحمل اسمهما . في سنة 1921 قنن جيلبرت الجنيفي معالجة مرض هودكين . في سنة 1922 نشر ريغود ، كوتار وهوتان أول عمل جماعي تناول ست حالات من سرطان الحنجرة الخاضع للتشعيع فحصلا على خمسة شفاءات . وكانت معالجة سرطان عنق الرحم موضوع دراسات مهمة من قبل س . لابورد سنة 1925 ، ودوكوينغ سنة 1932 ، وهيمانا سنة 1935 . وكذلك سرطان الثدي . في سنة 1928 اظهر هودلفر طريقته في التشعيع بواسطة الحقول التماسية ، وفي سنة 1950 نشر سيزين التقرير الاكثر اهمية حول هذه المسألة الشائكة والشيقة .

ومنذ 1930 أتاح تحقيق السيكلوترونات ومسرّعات الجزئيات ، بشكل متزايد القوة ، واكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي واستخدام بطاريات ذرية ، للتطبيب بان يستعمل طاقات جديدة جسيمية وان يستعمل اشعة جديدة .

وعرف استخدام العناصر المشعة الاصطناعية نمواً سريعاً . منذ 1936 درس ج . فون هيفيسي ايض P^{32} عند الجرذ. في سنة 1939 درس هميوتون تثبيت اليود المشع في الغدة الدرقية ، ونشر في سنة 1946 مع ج . لورنس النتائج الاولى لمعالجة التضخم الدرقي بواسطة I^{128} . وعالج لورنس مرض تكاثر الكريات الحمر بـ P^{32}(1940) ونشر نتائج هذه التقنية المتعلقة بنقص الكريات البيض في لب العظم (1946).

ونشر كيستون (1942) ومارينلي (1947) تقنيتهما ونتائجهما حول مفعول I^{131} بالنسبة إلى السرطان الدرقي . في سنة 1947 ثبت مورتون وميرس التطبيقات الرئيسية العلاجية لكوبالت ـ 60 . في سنة 1950 درس كل من شرمان ونولان واللين التطبيقات التجريبية للذهب المشع في معالجة سرطان الرحم . ونشر فريدل وستورالسي في نفس السنة مفعول P^{32} حول سرطان الثدي المقرون بانتقالات عظمية واسعة ، بعد التجربة التي حاولها ستون في سان فرانسيسكو سنة 1942 .

من سنة 1950 إلى 1959 اجريت دراسات عديدة حول المعالجة بالاشعاع بواسطة قنبلة كوبالت Co^{60} ، وبينت هذه الدراسات الإمكانات والمكاسب بالنسبة إلى المرضى ، وخاصة سرطانات الحنجرة والرئة والرحم والبلعوم . وكلها تلح على الفوائد الآنية المباشرة ، ولكن من المبكر تكوين فكرة صحيحة عن النتائج الايجابية لصالح العلاج بالإشعاع . وكذلك الامر بالنسبة إلى العلاج باشعاعات الطاقة العالية .

في سنة 1939 بدأ لورانس وستون في سان فرانسيسكو في معالجة السرطانات بواسطة حقل نوتروني منبثق عن مسرّع (سيكلوترون) . في سنة 1940 درسا مع ابرسولد تاثير النترونات السريعة في معالجة الإصابات الخبيثة. وإذا كان توبيانا قد ألحّ سنة 1958 على النتائج الجيدة المباشرة في معالجة سرطانات الحنجرة بواسطة البيتاترون [مُسَرع]، فمن المشكوك فيه تماماً الوثوق بالنتائج البعيدة.

ولكن استخدام هذه الطاقات العالية يبين ضرورة تحديد الوحدة (r) وقصرها على الطاقات التي لا تتجاوز (3 Me V) ؛ وقد اعتمد هذا في مؤتمر لندن سنة 1950 الذي انبثق عنه بذات الوقت راد «rad» ، وحدة جديدة للطاقة الممصوصة .

ورغم ظهور هذه الاستطبابات المعقدة والدقيقة ، نظراً لطبيعة الاشعاعات المستخدمة ، فقد استمر التطبيب التقليدي في تقدمه .

وقد تم تحقيق التطبيب الاشعاعي بالاشعة القصوى ، هذا التطبيب الذي قال به بيلوت ولندمان منذ سنة 1908 ، على يد بوكي سنة 1924 . في سنة 1934 نشر شاول اعماله الاولى المتعلقة باستخدام التطبيب الاشعاعي التماسي بصورة منهجية . وساهم لامارك وغروس في فرنسا إلى حدٍ كبير في تطوير التطبيب الاشعاعي بفضل انبوب انتريكس الذي اتاح بسهولة اكبر التشعيعات بين الجيوب وطور ماينورد نظريته حول المقدار المتكامل النسيجي واقترح استخدام غرام رونتجن . وفي سنة 1937 درس دومنيل ديرشمونت الانماط التقنية للاستطباب بالمسرّع (سيكلوترابي) الذي اقترحه بوهل ، ومالت وبروكس . وقدم مارك (Marques) وكانيهاك وديڤولبيان ، باساليب

مختلفة مساهمة مهمة في فرنسا . وفي سنة 1948 اقترح بجورك والانكليزي لينلي تقنية الحقول الصغيرة بشكل تاج ، وهي تقنية عاد اليها سميترس وونترنيتز . واقترح ر . باترسون وباركر نظامهما المسمى « منشسترسيستم » (1948) . واخيراً تطورت طريقة المعايير المتساوية التي درسها ديسوور وكوليز منذ 1922، خاصة في البلاد الانغلوسكسونية ، مع ماينورد ، باترسون ، ولامرتون ، فايلا وأ . كويمبي .

ان التقدم في التطبيب الاشعاعي يقتضي معدات تتزايد تعقيداتها ويتطلب اليوم مناهج عمل متجانسة يجب استعمالها في العالم اجمع .

VIII ـ تطور الجراحة

لم تكن انجازات الجراحة منذ خمسين سنة اقل ادهاشاً من انجازات الطب ، ولكن كما هو الحال في الطب ، كانت الاكتشافات في مجال العلوم البيولوجية هي التي مكنت من تقدم الجراحة . واذا كانت المهارة في العمليات ضرورية للجراح ، فان الجراحة هي جزئياً نشاط يدوي . فالعمل الجراحي ، الذي يحطم مؤقتاً تمامية اوالية رهيفة كالجسم البشري ، لا يمكن ان يكون غير مؤذٍ وفعالاً الا بفضل المعرفة الدقيقة لسير العمل لهذا الجسم ، ولاحتياجاته ولاوجاعه ، حتى يكون مؤهلاً لارضاء هذه الاحتياجات ولتخفيف هذه الاوجاع .

لقد اتاح اكتشاف التخدير وتطبيقه اجراء تجارب عليه في الجراحة بخلال القرن التاسع عشر ، وذلك بفضل اعمال هـ . ولس ، و . موروتون ، ج . ي . سمبسون ، الخ . ولكن منذ خمسين سنة تحول التخدير بشكل فريد ، ففقد مظهره التجريبي العملي ؛ وتكاثرت اعمال التخدير ، واستكملت الاجهزة .

ان الجهاز الذي وضعه امبردان سنة 1908 كان ملحوظاً من حيث بساطته وعدم ضرره النسبي حتى انه ربما اخر كثيراً انتشار تقنيات تخديرية حديثة ، وادوية مخدرة غير متطايرة ، هذا على الأقل في فرنسا . واليوم هناك اجهزة تتزايد كمالاتها ، تنظم علمياً التخدير (اجهزة فوريجر ، نيدبرنك ، مك كيسون ، الخ) ، فتتيح التخدير ضمن حلقة مقفلة ، جعلت ممكنة بفضل د . أ . جاكسون الذي صنع في سنة 1915 جهازاً يمتص الغاز كربونيك ، وبفضل ر . م . وترس الذي ابتكر وعاء الكلس الصودي . وإذا كانت أنبة القصبة الهوائية قد استخدمت في مختبرات الفيزيولوجيا منذ مطلع القرن ، واذا كانت قد استكملت بخلال الحرب العالمية الاولى بفضل اعمال ماجيل وروبوثام ، فانها لم تنتشر الا بعد خمسٍ وعشرين سنة ، حالةً بصورة نهائية محل محاولات التنفس الاصطناعي (« ضمن صندوق ») من نمط غرفة سوير بروخ .

هذا المقدار من التقدم جعل من التخدير فرعاً علمياً خاصاً قضى على الموت عن طريق التخدير قضاءً شبه كامل تقريباً .

من المعلوم ان التعقيم أو التطهير هو الذي اتاح ولادة الجراحة الحديثة ، ومنذ اواخر القرن التاسع عشر ، قام الجراحون باستغلال النصر العظيم الذي حققه باستور . واصبح هذا الاستغلال

اكثر اثماراً ايضاً بفضل ظهور المضادات الحيوية ، وبفضل التطبيب الكيميائي ضد الاوبئة ، الامر الذي اتاح اليوم ، بعد استبعاد العدوى ، القيام بعمليات جراحية جريئة جداً في اطار من الطمأنينة المتزايدة .

وعمل التقدم في مجال الانعاش ، بعد تصحيح مرضٍ للاضطرابات التحليلية الكهربائية ، وبعد شيوع استخدام نقل الدم ، منذ الحرب العالمية الثانية ـ الذي يعوض الخسائر في الدم اثناء العمليات ـ على ازالة أو على الاقل تخفيف الصدمة التي تعقب العملية .

وهكذا منذ خمسين سنة ، تمت الاحاطة بالمؤشرات العملياتية وابتكرت ونفذت التقنيات العملياتية . ولائحة العمليات الجراحية الجديدة لا حدود لها تقريباً : استئصال مختلف الزيادات في الجهاز الهضمي ، اجتزاز السرطانات ، التلحيم العصبي ، الترقيع الجلدي الخ . لقد شاهد القرن العشرون ازدهار جراحات جديدة .

الجراحة التجبيرية ـ ان الزيادة الدائمة في عدد الحوادث يجعل من هذا الفرع من الجراحة ، مجالاً ثميناً كل يوم .

في الولايات المتحدة تصدى بوسورث ، مور ، كومبير ، ولسون ، ستيرلنغ بونل بنجاح للعديد من المشاكل التجبيرية الصعبة وخاصة تركيب العظام المعدنية للكسورات وللترقيعات العظيمة . واوضح جافي وليشنستين وداهلن التشريح الباتولوجي الصعب للاورام ، وللسفل العظمي . وفي انكلترا أنشأ واطسون وجونس وشارنلي وسيدّون وتروتا مراكز حديثة لعلاج الصدمات التجبيرية حيث يتم درس اعادة التأهيل ، والتدريب بشكل مدروس وافضل . يعتبر سميث ـ بيترسون أحد أكبر المجددين في جراحة الورك . وفي ألمانيا شق باولس طريقاً مثمراً بشكل خاص لمعالجة الاضطرابات العظمية المفصلية . وفي فرنسا جعل مرل دوبينيه ، جوديه ، بيتي ، الخ . من تجبير العظام تخصصاً ذا أهمية كبرى .

الجراحة الصدرية ـ منذ 1932 احتلت الجراحة الصدرية مركز الصدارة في التقدم الجراحي ، بفضل التقنيات التي سبق ذكرها ، وبفضل حل معظم المسائل الفيزيولوجية حول التنفس الرئوي والدورة الدموية ، وبفضل اكتشاف الادوية المضادة للتخثر والتي ضاعفت امكانية جراحة القلب والاوعية .

في سنة 1939 تصدى ر . أ . غروس ، وهو الاول في العالم ، لامراض القلب الولادية ، وربط بنجاح قناة شريانية . وفي سنة 1944 أجرى ك . كرافورد بنجاح عملية ضيق الشريان الابهر الولادي . وابتكر أ . بلالوك وهـ . توسيغ (1945) عملية التفامم مما حسن حالة الاطفال « الزرق » . وفي سنة 1938 جمع كرافورد مئة وثماني عشرة ملاحظة حول استئصال الرئة ، وضم اليها ستعشرة ملاحظة شخصية . وفي سنة 1945 نشر سويت تقنية عملياتية بسيطة وفعالة حول استئصال الرئة . وأصبحت عمليات استئصال فص من الرئة أو تقطيع أو استئصال أقسام أو أجزاء من الرئة شائعة في الجراحة الرئوية ، وشرع الآن بالتصدي لسرطانات القصبة والرئة .

وبواسطة التخدير ونقل الدم الصحيح ، وبواسطة الادوية المضادة للعدوى اصبح كل عمل جراحي ممكناً شرط ان يبقى القلب نابضاً لتأمين تزويد الجسم بالغذاء ، وبصورة خاصة تامين غذاء القلب والدماغ والكليتين . وتعلم الجراحون بسرعة ان كل توقف للدورة الدموية يزيد عن اربعة دقائق يقترن حالاً بالموت .

وفي سنة 1948 تم التصدّي للجراحة المباشرة داخل القلب وصماماته بفضل عملية استئصال للصمام قام بها ر . ك . بروك من اجل تلافي ضيق في الشريان الرئوي ، في ثلاثية فالوت ؛ مع تسكير المجاري المتصلة داخل الشرايين (بيلي ، 1950) . ولكن هذه الطرق اعطت نتائج مختلفة ، وغالباً غير مكتملة ، لان الجراح كان يعمل على العماهة دون مراقبة الرؤية . واذا كان عمله قد بدا فعالاً بالنسبة إلى ثقب منفرد ، فقد كان خطراً التصدي لعضلة القلب أو لاصابات الاغشية الفاصلة المتنوعة في مكانها ، وحجمها وشكلها . واصبح من الضروري بالنسبة إلى عدد من امراض القلب الولادية العمل ضمن قلب مفتوح .

بدا هذا التقدم ممكناً بفضل الانابيب البلاستيكية وبفضل السيليكون ، ومضادات التخثر ، والطرق التنفسية المراقبة ، وبالمساعدة على التنفس ، وبفضل المعقمات والمنعشات ، وبإحاطة العمل العملياتي ، بفريق من الاطباء والجراحين مهمته حل المشاكل التقنية الكثيرة ، وبمساعدة التقنيات الاشعاعية التصويرية والكهربائية ، وعمليات تنشيط الدم قبل العملية وبعدها .

وفي سنة 1949 بديء باجراء عمليات القلب بالذات ، بصورة منتظمة بعد ان استطاع بيلي (الولايات المتحدة) ، وبروك (انكلترا) القيام بتوسيع صمام القلب التاجي .

من خلال ثقب صغير والقلب مستمر في الخفقان ، يتم ادخال الاصبع ، ثم يقوم موسع بتوسيع الثقب الاذيني البطيني الايسر المريض الضيق . وتتم هذه العملية « على العماهة » ، وتسمى عملية « القلب المسكر» ، وقد اعطت نتائج جيدة . واطمأن اليها الاف المعالجين اليوم . ويذكر ان فكرة العملية كانت قديمة ، لان محاولات مماثلة جرت من قبل آلن وغراهام على الانسان منذ 1922 ، ولكن مات بعد العملية ثمانية اشخاص بعد ان عاشوا بضعة أشهر . واليوم لا تبلغ نسبة الوفيات 10 % .

وبخلال السنوات العشرين الاخيرة حققت الجراحة الصدرية تقدماً ملحوظاً وذلك بفضل استخدام تنزيل حرارة الجسم الى اقل من الوسط ، وبفضل الدورة الدموية المتصالبة وبفضل القلب ـ الرئة الاصطناعي .

ان التقدم المدوي قد تحقق بخلال السنوات 1953-1954 على يد سوان ، بفضل تنزيل حرارة الجسم ، مما اتاح تسكير الاتصالات بين الشرايين في عمليات القلب المفتوح شرط ان لا تتجاوز فترة العملية مدة ست دقائق ؛ وكان هذا مطلباً قاسياً ، خاصة وان تنزيل الحرارة بدا مميتاً بالنسبة إلى البالغين ، وان جمله الصغار .

في سنة 1954 ابتكر ليلّهي الدورة الدموية المتصالبة . وبموجبها يفتح الأذين الايمن والبطين

الايمن ، ثم تجري بأم العين فيهما جراحة تصويبية تعيد فتح الصمامات الحاجزة بين الأذينات والبطينات ، وازالة العوائق من المجرى الشرياني الرئوي في القسم القمعي . ولكن هذه الطريقة بقيت دقيقة صعبة التطبيق لان الوقت المحدد لها يتراوح بين 15 و 20 دقيقة .

في سنة 1955 ادخل ليلّهي على آلته الماصة ، مزوّد الاوكسيجين الذي وضعه وال . فقدم حلاً لمسألة كانت تدرس منذ اكثر من 20 سنة ، وذلك حين ابتكر جهازاً يستطيع تأمين وظائف القلب والرئتين ، بعد قطع الدورة الدموية عن هذين العضوين ، اي القلب والرئة الاصطناعية . وفي سنة 1956 قام كركلين وفريقه من جهتهم باجراء عملية بواسطة جهاز تم فيه التغلب على المصاعب الضمنية في دفق الدم ، بأسلوب ماهر ، وذلك بفضل معدات الكترونية ابتكرها متخصصون في القوى الجوية الاميركية . بواسطة جهاز القلب ـ الرئة الاصطناعي اتاح التدخل المباشر في عملية تجويف القلب القليل الدم ، تصحيح الاتصالات بين الاذينات وبين البطينات ، البسيطة أو المقرونة بارتفاع الضغط الرئوي ، وضيق الشريان الرئوي ومركب ايزنمنجر .

مثل هذه التدخلات الجراحية جعلت مريحة بعد ايقاف نبضات القلب ، بزرق ـ في قاعدة الابهر المسدود بملقط ـ محلول من سترات البوتاسيوم ، مما يتيح للجراح العمل على قلب خالٍ من الدم وجامد ، سوف يعود إلى الخفقان بعد رفع الملقط عن الابهر (إسمر ، 1956) .

ويجدر ايضاً ان نذكر تقنيات الانعاش القلبي ، وتدليك القلب ، واستعمال مانع التليف ، وكلها من شأنها ان تعيد بعث افراد في حالة الموت الظاهر إلى الحياة . وهي تقنيات استعملت بنجاح ضمن الشروط الجراحية الاكثر تنوعاً . ومن شأنها ايضاً أن تعيد إلى الحياة مرضى كانوا ضحية توقف قلبي عنيف كما تدل على ذلك ملاحظات أخاذة (براون نودسن وشرودر ، 1957 ؛ بك ، ويكيسر وباري ، 1956) .

الجراحة العصبية ـ كانت انكلترا مهد الجراحات العصبية حيث تم لاول مرة اجراء عمليات على الدمامل الدماغية (و . ماسيوين ، 1883) ، وحيث اجريت اول عملية لاقتلاع ورم دماغي (ماسيوين ، 1879) وأول ورم يضغط على الحبل الشوكي (ف . هورسلي ، 1887).

ومنذ اواخر القرن التاسع عشر نجح هورسلي في استئصال عدد كبيرة من الاورام الدماغية ، والنخاعية المختلفة . وجاء المصرع العظمي البلاستيك بفضل و . وغنر (1889) ، والمنشار من ل . جيغلي (1898) ؛ والشمع من اجل وقف نزيف العظم ، والعضلة من اجل وقف نزيف الدماغ جاءا من هورسلي .

في بداية القرن العشرين كان الاميركي هـ . و . كوشنغ أول من فهم انه من اجل النجاح يتوجب على الجراح العصبي ان يعرف التشريح والفيزيولوجيا وعلم الامراض التي تصيب الجهاز العصبي ، وان يعرف طب الاعصاب العيادي ، حتى يتسنى له ان يتولى بنفسه مسؤولية التشخيص وايضاً القيام بالعمل الجراحي .

في سنة 1911 ، ابتكر مشبك الفضة ؛ وهو الذي استخدم اولاً التخثير الكهربائي ، انما

ابتداءً من سنة 1927 . واستطاع مع معاونيه (هوراكس ، ساكس Sachs ، بيلي) ان يعزل ، وان يصف كل انواع الاورام الدماغية تقريباً ، مثل : ورم الاعصاب ، الدمل السحائي الموضعي أو المتعدد الأنماط، وورم الغدة النخامية ، وأورام بلعومية جمجمية ، وأورام الأعصاب السمعية . وابتكر طرقاً جراحية لكل منها . اما بالنسبة الى الاورام التي لا يمكن استئصالها فانه نصح في سنة سنة 1905 بإزالة الضغط فيما تحت الصدغين .

وادخل الاميركيان و . ج . سبيلر وش . هـ . فرايزر ، القطع التراجعي في جذور العصب المثلث التوائم (1901) . وقام ادسون بتحسين الطريقة وتبعه فيما بعد بيت سنة 1918 وقدم هذان الاخيران ايضاً طريقة قطع الجهاز العصبي الشوكي في جراحة ازالة الالم (1912) .

وبواسطة تصوير البطين سنة 1918 وتصوير المخ سنة 1919 افتتح و. أ . داندي عصراً جديداً في الجراحة العصبية . وبدأ باجراء عمليات حتى على اورام البطينات الجانبية ، وأورام البطين الثالث واورام النخامية .

وانطلاقاً من هذه الاعمال ومن أعمال كوشنغ انتشرت جراحة الاعصاب في العالم . وكان باعثوها هم و . فورستر في المانيا وت . دي مارتل ، وكلوفيس فانسانت في فرنسا وبنفيلد في كندا . وتطور علم الجراحة العصبية في فرنسا بفضل فانسانت ومساعدية . وبين سنة 1930 و 1940 ازدهرت هذه الجراحة . في تلك الحقبة اصبح التشخيص المبكر والاستئصال الكامل للأورام الدماغية موضوع جهود فانسانت ، ولكن جراحة الاعصاب الفرنسية تصدت ايضاً لاصابات اخرى .

ودرس الصرع ومعالجته بالجراحة العصبية ، بشكل خاص من قبل فورستر وبنفيلد : وسهلت عملية تشخيص الاورام الدماغية بفضل تعميم التصوير الكهربائي للمخ وبفضل التصوير الاشعاعي للاعصاب (لندغرين) . وتصدت الجراحة العصبية ايضاً للتشوهات الوعائية الدماغية ، وللتنفخ في جدار الشرايين الكيسية ، والشريانية الوريدية . وبفضل تصوير الأوعية أصبحت المعالجة الجراحية الجذرية لهذه التشويهات الوعائية ممكنة .

اما الجراحة الفصية لمقدمة الجبهة فقد استلهمت بفضل اعمال بنفيلد الفيزيولوجية ، (انطونيو دي ايغاس مونيز ، 1936) وفتحت الطريق امام « الجراحة النفسانية » (الميدوليما ، فريمان وواتس ، بوبن) .

وفي الوقت الحاضر هناك اتجاه نحو الاستئصالات المحدودة (فولتون ، لوبو) ، أو نحو تدمير انتقائي تبعاً لمختلف الدلائل العقلية أو الاوجاع . اما الجراحة في حالات ضعف الحركة فقد عرفت نجاحات بالنسبة الى مؤشر باركنسون ، وذلك بتدمير موضعي للعروة العدسية ، وللنواة الرمادية في الدماغ (روسل ، مايرس) .

ان هذه الجراحة التي تهدف إلى احداث عطب محدود انتقائي في نقطة معينة من الدماغ ، دون اضرار بالبنيات الأخرى ، قد تحققت بفضل طريقة خاصة : هي طريقة الانتظام اللمسي

(ستيريوتاكسي) ، والتي وضعها سبيغل وويسيس (1947) ، ومن قبل تاليراك ودافيد (1949) ـ والمبدأ مشتق من الجهاز الذي صممه سنة 1908 هورسلي وكلارك من اجل غايات تجريبية . ان الانتظام اللمسي قد فتح إمكانات واسعة للاستقصاءات الفيزيولوجية . وتطبيقاته التطبيبية سوف تكون عديدة بالتأكيد (مثل الصرع) .

هذا العرض السريع يدل على أن مجال الجراحة العصبية واسع جداً . نضيف أيضاً التشوهات (في العامود الفقري ، وفي التحام الجمجمة وفي الناسور الجلدي) ، والصدمات في الجمجمة ، والفتوق الصحنية [القطنية] التي تدخل في مجال العمليات الجراحية .

جراحة الصمم ـ هذه الجراحة قد تطورت بشكل خاص منذ ثلاثين سنة ، وهي تطبق اليوم بنجاح كبير في الصمم الركابي وفي الصمم النشافي وفي بعض التشويهات .

في سنة 1914 وصف أ . باراني تقنية فتح القناة نصف الدائرية الخلفية ، ولكن المكسب السمعي الأولي المباشر لم يمكن الحفاظ عليه . في سنة 1917 ادخل ج . هولمغرين تقدماً كبيراً وذلك باستعمال اجهزة بصرية مكبّرة . وفيما بين 1927 و 1937 نجح م . سورديل ، وهو الاول في ذلك ، في الاحتفاظ بالكسب السمعي في ثقب الاذن الداخلية (وذلك بفضل رقاقة وصلت بين الثقب وبين الجهاز الطبلي) . في سنة 1938 اعطى ج . لمبرت دفعة لجراحة سورديل فعدلها (اسلوب الوقت الواحد ، والطريق الاندورالي) . وقام ج . أ . شامبوف (1942) واوبري (1947) بتحسين وتبسيط الجراحة . في سنة 1952 وصف روزن طريقته في تحريك العظيمة ، وفي سنة 1951-1952 وضع ولستين وزولنر طريقة ترقيع الطبلة .

في سنة 1957 بيّن اومبردان وجود تشويهات ولادية في عظمات الاذن وخاصة في العظيمة في حين ان الصيوان والمجرى والطبلة هي في حالة طبيعية ، وبين انه يجب البحث عن حالات الضمور عند بعض الطرشان . وجاءت اكتشافات عديدة تحسن اخيراً تجهيزات الصمم على انواعه . في سنة 1932 صمم هـ . ليبر اول آلة توصيلية عظمية . ومنذ 1948 استخدم الترانزستور في هذه الاجهزة .

الجراحة في مجال علم العين ـ في مجال العين حققت الجراحة ايضاً تقدماً كبيراً . فاستخراج الكتاركتا في عدسة العين ، تحت الكبسولة ، حل محل الاستخراج من فوق الكبسولة ؛ واتاح تحسين الملاقط هذا الاستخراج اليوم . اما تحسين الابر ومعدات الخياطة فقد اتاح تقطيب القرنية ، وتقطيب القرنية مع بياض العين . وفي السنوات الاخيرة جرت المحاولات الاولى لاستبدال بؤبؤ العين بعدسة شفافة من مادة بلاستيكية (عدسة نيدلي ، وعدسة سترمبلي) .

ان المعالجة الجراحية للماء الزرقاء عرفت ايضاً تحسينات مهمة .

في بداية القرن كانت عملية استئصال القزحية معروفة وحدها من قبل فون غراف (1866) . وبدت هذه العملية غير كافية في حالة الماء الزرقاء المستعصية . عندها تم ابتكار العمليات الخراجية : مثل استئصال بياض العين والقزحية بسكين ف . لاغرانج سنة 1907 ، واستئصال

البياض والقزحية بواسطة التريفين ر . هـ . اليوت سنة 1908 . واخذت العملية المسماة « ايريد نكليزيس » التي وصفها س . هولث سنة 1907 تتعمم باعتبارها عملية معالجة الماء الزرقاء ، الابسط تطبيقاً ، ومن الاكثر فعالية .

في حالة الماء الزرقاء الطفولية ، وصف و . باربران في الولايات المتحدة « الغونيو تومي » والتي تهدف الى استئصال تشويهات الزاوية القزحية القرنية التي هي في اصل الماء الزرقاء الطفولية .

وابتداء من سنة 1920 أثبت ج . غونين في حالات نزع الشبكية أهمّية المزق الشبكي . واليوم أتاح إلغاء المزق الشبكي بواسطة الكي الغلفني ، والتخثير الاستمراري المعزول أو المقرون بقطع بياضي عدسي ، الشفاء من حالة انتزاع الشبكية بمعدّل خمسين بالمئة من الحالات .

ان حالات ترقيع القرنية الثقوبية أو العدسية قد تحققت تجريبياً بفضل ماجيتوت سنة 1909 . واتاحت اعمال أ . الشنيغ سنة 1914 وڤ . پ . فيلاتوف ، ابتداء من سنة 1923 إجراء اولى العمليات لترقيع القرنية عند الانسان . والواقع ان هذه الترقيعات قد تعممت منذ ان اتاحت النتائج في كل بلد ، أخذاً مبكراً للقرنيات من الجثة ، خلال ست ساعات بعد الوفاة . في سنة 1945 تم في الولايات المتحدة انشاء أول بنك للعيون . وأنشىء في فرنسا بنك مماثل سنة 1947 . واليوم هناك اتجاه لاستخدام الطعوم المحفوظة .

* * *

كل هذه الجراحات تجاوزت المرحلة الصناعية الحرفية منذ بدايتها . ان الجراحة الحديثة تتطلب وسائل مادية قوية وتنظيماً جماعياً ، وعملاً فريقياً يتوافق فيه المشاركون للقيام بالعمل المشترك . وشرط هذه النجاحات بالذات هو هذا التعاون الذي يعتبره البعض وكأنه من العجائب .

ان الجراحة تحاول ان تحل مسائل خطيرة ما تزال تطرح عليها . فترقيع العظام يتم منذ بداية القرن ؛ ومنذ فترة وجيزة أصبح يتم ترقيع الشرايين ؛ وإلى جانب بنوك الدم قامت بنوك العظام وبنوك الشرايين (ومحاولات ترقيع الاعضاء ، تصطدم حالياً بمصاعب بيولوجية (همبرغر ومعاونوه)) . ولكن مهما اتسع حقل العمل امام الجراحة ، ومهما بدت النتائج الحاصلة فعالة ، فلا بدّ من القول بان معالجة السرطان جراحياً تبقى ناقصة ، وتبقى النتائج غير مضمونة . ان الالتهاب الرئوي رغم ندرته ، ما يزال يتهدد المريض وفي بعض الاحيان بعد الجراحة الاكثر بساطة .

استنتاج

ان اللوحة التي قدمنا بعض الصور فيها عن الطب بخلال القرن العشرين تؤكد تماماً ، حسب اعتقادنا ، الانطباع المشار اليه في مطلع هذا العرض ، عن دفق لم ينقطع من الاكتشافات المهمة وعن تغيير شامل في مظهر علم الامراض والبيولوجيا . ولكي ننهي هذا العرض نريد لفت الانتباه

إلى بعض عناصر تساهم في تكوين سمة الطب المعاصر .

ان المراقب يؤخذ ، في بادىء الامر ، بالتوجه نحو البحث الطبي والبيولوجي ، الذي اجتذب عدداً كبيراً من الشبان . ان التعطش إلى المعرفة ، والرغبة في الفهم هما الشعوران الاقوى في الجيل الصاعد . ان الجذوة في التغلب على الطبيعة متقدة بقوة والنجاحات تثير الحماس . في مختلف انحاء العالم اتّسعت كثيراً، مراكز البحوث ، ودائرات الدارسات ، والمؤسسات المتخصصة في تنمية العلوم الطبية وتطبيقاتها .

ومن جهة اخرى ، من اجل استكمال الجهد الذي يرمي إلى افادة الانسان السليم من الوقاية ، وإلى اشفاء الانسان المريض ، من وبواسطة كل الاختراعات والتقنيات التي تحققت في العلوم القريبة ، ازداد بسرعة تقسيم الطب إلى مجالات متنوعة . وكذلك الامر فيما خص العمل ضمن فريق ، الذي اصبح مفيداً ، وفي اغلب الاحيان ضرورياً ، من اجل فهم كل فرد ، ومن اجل معالجة كل حالة . ان مسألة التخصص الطبي ، ومسألة العمل ضمن فريق قد طرحتا بشكل حاد في مجال الطب الحديث .

فضلاً عن ذلك ، اصبحت مسألة التزود بالآلات معقدة جداً ومكلفة جداً ، وكذلك التجريب . ان نفقات البحث من جهة ، وايضاً النفقات التي يتطلبها كل يوم اجراء التشخيص والمعالجة بالنسبة إلى مرض ، تطرح مشكلة اقتصادية خطيرة جداً . من هنا الحاجة إلى مؤسسات خيرية ، وإلى صناديق ، وإلى اعتمادات موازناتية ملحوظة في ماليات الدول . ان على الجماعة ان تتحمل اعباء وتكاليف البحوث والعناية المبذولة . وهكذا تفهم هذه الحركة المزدوجة : انشاء التأمينات الاجتماعية ، والضمانات الاجتماعية ، واقامة مستوصفات طبية عامة ، ومرافق وطنية للصحة ، ومستشفيات حديثة من اجل القضاء في كل بلد على التفاوت في مواجهة الالم ، والمرض والموت . ومن جهة اخرى يهدف تشكيل مؤسسات دولية متخصصة بهذه المهمة إلى ازالة الفرق بين شعوب الارض تجاه الكوارث الامراضية . ان الاكتشافات الصناعية والعون الخيري قد ساعدتنا بقوة ، اذ ان مبلغاً من كل فرد يكفي للتغلب على الاجتياحات الميكروبية الاكثر بشاعة والاكثر ارهاباً .

وبالفعل يجب ان لا نعتقد ان التدابير وان استقصاءات الطب الحديث ، بما فيها من تعقيد وما فيها من ابداع مدهش ، هي مخصصة فقط للبحث الخالص ، اللامبالي ، المنفصل عن الانسان وآلامه : ابداً . ان التطبيق يستولي ، بسرعة قصوى ، في زمننا الصناعي هذا ، على التقنيات ويكيفها لتتلاءم مع العمل الطبي اليومي .

ان الجهد اصبح اكثر فاكثر قوة من اجل اعطاء كل طبيب في العالم المعرفة بكل اكتشاف جديد أو تقنية جديدة . ان السرعة في التطبيق واستخدام الاكتشافات هي من مميزات الحياة الطبية في هذه العشرين سنة الاخيرة . ولما كان المرض يضرب بصورة خاصة شعوب البلدان السائرة في طريق النمو الاقتصادي والاجتماعي ، فان احد الجهود الابرز والاقوى ، من جهود البشرية، يجب ان يبذل من اجل افادة كل انسان على الارض من الطب الحديث ، بخلال هذا القرن العشرين .

مراجع الأقسام الخمسة الأولى

الاطار التاريخي

Cadre historique. — « Histoire générale des Civilisations », t. VII : *L'époque contemporaine*, par M. Crouzet, 3[e] éd., Paris, 1961. — Coll. « Peuples et civilisations », t. XIX : *La crise européenne (1904-1918) et la première guerre mondiale* (P. Renouvin, 4[e] éd., 1962) ; t. XX : *La faillite de la paix* (M. Baumont, 4[e] éd., 2 vol., 1960-1961). — J. Pirenne, *Les grands courants de l'histoire universelle*, t. VI et VII, Paris, 1955-1956. — Coll. « Clio », t. IX, 2 : *La paix armée et la grande guerre (1871-1919)* (P. Renouvin, E. Préclin, G. Hardy, L. Genet, J. Vidalenc, nouv. éd., 1960).

البيبلوغرافيات

Bibliographies. — G. Sarton, *Horus...*, Waltham (Mass.), 1952 ; F. Russo, *Histoire des sciences et des techniques : bibliographie*, Paris, 1954 (suppl. ronéotypé, 1955) ; J. C. Poggendorff, *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften*, vol. 4, 5, 6 (4 parties), 7 *a* (4 parties), Leipzig, 1904-1962. — Bibliographies périodiques publiées par le *Bulletin signalétique du C.N.R.S.* (« Histoire des Sciences ») et par la revue *Isis*.

العلم ، التكنولوجيا والمجتمع

Science, technique et société. — A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1925 ; J. G. Crowther, *The social Relations of Science*, London, 1941 ; P. Dunsheath, *A Century of Technology*, London, 1951 ; L. Mumford, *Technique et civilisation*, trad. fr., Paris, 1951 ; L. Leprince-Ringuet, éd., *Les inventeurs célèbres*, Paris, 1951 ; G. Bachelard, *Le matérialisme rationnel*, Paris, 1953 ; J. D. Bernal, *Science in History*, London, 1954 ; B. Russell, *The Impact of Science on Society*, New York, 1956.

تاريخ العلم بصورة عامة

Histoire de la science en général. — É. Picard, etc., et M. Caullery, *Histoire des sciences en France*, 2 vol., Paris, 1924 (t. XIV et XV de l'*Histoire de la nation française* de G. Hanotaux) ; *Les sciences (Tableau du XX[e] siècle : 1900-1933)*, par P. Sergescu, J. Rostand, A. Boutaric, Paris, 1933 ; P. Rousseau, *Histoire de la science*, Paris, 1945 ; *Cinquante années de découvertes*, Paris, 1951 ; H. Dingle, *A Century of Science*, London, 1951 ; J. G. Crowther, *British Scientists of the XXth Century*, London, 1951 ; L. de Broglie, *Savants et découvertes*, Paris, 1951 ; S. F. Mason, *Histoire des sciences*, trad. fr., Paris, 1956 ; L. Leprince-Ringuet, éd., *Grandes découvertes du XX[e] siècle*, Paris, 1956 ; M. Daumas, éd., *Histoire de la science*, Paris, 1957 ; N. Abbagnano, *Storia delle scienze*, Turin, 1962 ; *Nobel, the man and his prizes*, Amsterdam, 1962.

الرياضيات

Mathématiques. — La plupart des traités d'histoire des sciences ne donnent qu'un aperçu sommaire de l'apport du XX[e] siècle. Par contre de nombreux ouvrages scientifiques dressent un tableau de l'évolution récente du secteur de la science qu'ils envisagent. Nous nous limiterons ici à des indications bibliographiques limitées, renvoyant pour l'essentiel aux références données par les ouvrages généraux cités ainsi qu'aux grandes revues scientifiques (*Nature*, *Science*, *Scientific American*, *American Scientist*, *Sciences*, *Sciences Progrès-La Nature*, *Atomes*, etc.) et aux revues de résumés analytiques. *L'Encyclopédie française* (t. 1-8 et t. 12, avec ses *Cahiers d'actualité et de synthèse*, Paris, depuis 1936) l'*Encyclopedia of Science and Technology* (15 vol., New York, 1960) permettent en particulier d'obtenir des références précises sur les principales questions.

Pour les mathématiques, citons les ouvrages de F. Cajori, J. Cavaillès, A. Church, J. L. Coolidge, L. E. Dickson, F. Le Lionnais, P. Montel, J. R. Newman, M. d'Ocagne, Ø. Ore et H. M. Walker mentionnés au tome précédent (pp. 604-606), ainsi que : E. Carruccio, *Corso di storia della matematiche*, Turin, 1951 et surtout N. Bourbaki, *Éléments d'histoire des mathématiques*, Paris, 1960.

العلوم الفيزيائية

Sciences physiques. — *Encyclopédie française* (t. II et XII, Paris, 1956 et 1958, avec d'importantes bibliographies) *Encyclopaedic Dictionary of Physics* (J. Thewlis, éd., 6 vol., Oxford, 1961-62). Ouvrages de G. Bachelard, E. Bauer, A. J. Berry, W. Bragg, Ch. A. Browne, E. B. Burtt, R. S. Clay et T. H. Court, R. Dugas, H. E. Fierz-David, A. Findlay, H. M. Leicester, F. Lieben, E. Mach, W. F. Magie, A. Mittasch, J. R. Partington, J. Perrin, C. Pla, V. Ronchi, M. Rooseboom, G. Urbain et M. Boll, M. E. Weeks, E. T. Whittaker, A. Wilson cités au tome précédent (pp. 606-608). Citons également : L. B. Loeb et A. S. Adams, *The Development of Physical Thought*, New York, 1933 ; E. Zimmer, *The Revolution in Physics*, London, 1936 ; C. Møller et E. Rasmussen, *The World and the Atom*, London, 1940 ; R. T. Beyer, éd., *Foundations of Nuclear Physics*, New York, 1949 ; S. Glasstone, *Source Book on Atomic Energy*, New York, 1950 ; M. von Laue, *Histoire de la physique*, Paris, 1950 ; L. de Broglie, *Savants et découvertes*, Paris, 1951 ; M. de Broglie, *Les premiers congrès de physique Solvay*, Paris, 1951 ; G. Holton, *Introduction to Concepts and Theories in Physical Sciences*, Reading, 1956, etc. Parmi les nombreuses biographies, citons celles de Rutherford (A. S. Eve, Cambridge, 1939), Einstein (Ph. Frank, Paris, 1950), L. de Broglie (Paris, 1953), P. Curie (M. Curie, Paris, 1955), E. Fermi (L. Fermi, Paris, 1955), I. Langmuir (C. G. I. Smiths, London, 1962), etc.

علوم الأرض والكون

Sciences de la Terre et de l'Univers. — *Encyclopédie française*, t. 3, 1956. — Études de G. Abetti, A. Armitage, F. Becker et E. Esclangon, C. C. Beringer, A. Danjon et A. Couder, Ch. Davison, P. von Groth, H. Hölder, H. C. King, E. de Margerie, K. F. Mather et S. I. Mason, G. Perrier, G. Sarton, A. Tertsch, R. L. Waterfield, F. E. Zeuner citées au tome III, 1 (pp. 606, 608-09). — *Vistas in Astronomy*, 3 vol., Pergamon Press ; J. A. Hynek, éd. *Astrophysics*, New York, 1953 ; H. Jeffreys, *The Earth*, 3e éd., Cambridge, 1952, etc.

علوم الحياة

Sciences de la vie. — *Encyclopédie française*, t. 4 et 5, 1937 avec mises à jour. — P. Gray, *The Encyclopedia of the Biological Sciences*, Reinhold, 1961 ; A. Pi Suñer, *Classics of Biology*, London, 1955 ; M. L. Gabriel et S. Fogel, éd., *Great Experiments in Biology*, Prentice Hall, 6e éd., 1960. — Études de E. B. Almquist, L. Aschoff, S. A. Barnett, E. Bastholm, F. S. Bodenheimer, M. Boule, F. Bourlière, F. O. Bower, Ch. M. C. Brooks et P. F. Cranefield, W. Bullock, Californian Acad. of Sc., H. G. Cannon, G. S. Carter, E. L. Core, J. Costantin, A. Davy de Virville, B. Dawes, E. O. Essig, K. J. Franklin, R. E. Fries, J. F. Fulton, R. Furon, P.-P. Grassé, A. C. Haddon, T. S. Hall, R. J. Harvey-Gibson, A. Hughes, W. A. Locy, A. N. Meyer, F. Meyer, M. Mobius, W. E. Muehlmann, E. Nordenskiöld, M. Nowikoff, H. F. Osborn, P. Ostoya, F. N. L. Poynter, H. S. Reed, H. D. Rolleston, J. Rostand, K. E. Rothschuh, E. S. Russell, P. de Saint-Seine, G. G. Simpson, Ch. Singer, R. Souèges, R. P. Wodehouse, C. A. Wood, W. Zimmermann, citées au tome III, 1 (pp. 609-613). — Th. Weevers, *Fifty Years of Plant Physiology*, Amsterdam, 1949 ; L. Dunn, éd., *Genetics in the 20 th Century*, New York, 1951 ; T. K. Penniman, *A Hundred Years of Anthropology*, London, 1952 ; W. C. Steere, *Fifty Years in Botany*, New York, 1959 ; W. B. Turrill, *Vistas in Botany*, Oxford, 1959 ; G. Petit et J. Théodoridès, *Histoire de la zoologie*, Paris, 1962.

الطب

Médecine. — *Encyclopédie française*, t. 6, 1936 et fascicule de mise à jour. — Ouvrages de E. H. Ackerknecht, A. H. Buck, A. Castiglioni, L. Glendening, P. Diepgen, R. Dumesnil, F. H. Garrison, O. Glasser, H. Gocht, D. Guthrie, W. E. Haymaker, J. B. Herrick, Th. E. Keys, E. Kremers et G. Urdang, M. Laignel-Lavastine, P. Lain-Entralgo, P. Lecène, R. A. Leonardo, W. E. B. Lloyd, R. H. Major, E. May, C. C. Mettler, L. T. Morton, A. Pazzini, W. A. Pusey, G. Rosen, R. Sand, R. H. Shryock, H. E. Sigerist, C. E. Winslow, cités au t. III, 1 (p. 612). — R. Broca, *Cinquante ans de conquêtes médicales*, Paris, 1955 ; Ch. Singer et E. A. Underwood, *A Short History of Medicine*, 2e éd., Oxford, 1962 (bibliographie, pp. 761-795).

القسم السادس

الحياة العلمية

في مطلع القرن العشرين مارست أوروبا الغربية تفوقاً لا نزاع فيه في كل مجالات البحث العلمي . وبأقل من ثلثي قرن تغير هذا الوضع بشكل عميق . وبدأت بعض الانجازات الخارقة المشهودة في الولايات المتحدة وفي الاتحاد السوفياتي ـ خاصة في مجال الفيزياء النووية والبحوث الفضائية ـ تكرس انحدار العلم الاوروبي لصالح البلدين اللذين اخذت انجازاتهما العلمية تظهر على مستوى قوتهما المادية والعسكرية .

فضلا عن ذلك اخذ العلم يتدول بصورة متصاعدة وبشكل واضح بعد ان ظهر هذا التدويل في مطلع القرن . فبلاد كاليابان والهند والصين واستراليا ، كان لها دخول باهر في جوقة البحث العلمي العالمي ، ولا شك ابداً ، انه بخلال السنوات القليلة المقبلة سوف تدخل امم اخرى ، بصورة مباشرة نوعاً ما في مسار التقدم .

واذا رسمنا لوحة سريعة للحياة العلمية في مختلف البلدان ومختلف أقطار العالم ، فان الفصول المتتالية لهذا القسم السادس من الكتاب تتيح إدراك العوامل المتنوعة التي تتحكم بتطور العلم البشري ، بصورة أفضل . هناك مسألة أولى مهمة هي تقدير الوضع الحقيقي للبحث العلمي في امم اوروبا الغربية . الواقع اذا لم يكن بامكان اي من هذه البلدان ان يأمل ، بتعقل في منافسة القوة العلمية للولايات المتحدة أو للاتحاد السوفياتي ، فان جهود التنظيم المحققة في مختلف البلدان قد احدثت مفاعيل ملحوظة ، وسوف تؤدي بالتأكيد إلى تسريع وتيرة التقدم . ان اقامة تعاونٍ اوثق بين مختلف قطاعات البحث الوطنية تبدو وكأنها ضرورة ملحة في بعض المجالات .

فالولايات المتحدة وروسيا اللتان لم تحتلا ، في نهاية القرن التاسع عشر ، الا مكانة متواضعة في البحث النظري ، هما اليوم ، وبدون منازع ، في المقام الاول في مجال العلم العالمي . وهكذا ، رغم النظم السياسية والاجتماعية والاقتصادية المختلفة جداً ، اتبع هذان البلدان على الصعيد العلمي تطوراً متوازياً . والدراسة المقارنة للوقائع تبين على ما يبدو ، ان هذا التلاقي ينبثق بصورة اساسية من الروابط الوثيقة والمتزايدة التي تظهر بين البحث الأساسي والبحث التطبيقي ، بين التقدم الاجتماعي والقوة المادية والعسكرية في هذه الدول .

ان بطء النهضة العلمية في اميركا اللاتينية ، والصعوبة التي يعاني منها العالم الاسلامي ، من اجل المساهمة الفعلية في تقدم العلم المعاصر ، يفسران ايضاً بالتأخر النسبي لهذه البلدان ، على الصعيد الاقتصادي والاجتماعي . واخيراً ان المقارنة بين الوضع الحاضر للعلم في الهند وفي فيتنام وفي الصين وفي اليابان توضح عوامل اكثر تنوعاً . ففي حين بلغت اليابان مستوى علمياً عالياً جداً ، بقيت الهند التي تمتلك جهازاً علمياً من الدرجة الاولى ، مكبوحة في نهضتها بفعل مستواها الاقتصادي المتدني نسبياً ، وبعدم كفاية تجهيزاتها ، وبفعل بعض البنيات التقليدية .

اما فيتنام فهي بلد تخلص من الاستعمار حديثاً ، فقد انهكته الحرب الاهلية ، وهو يفتقر ايضاً إلى الوسائل المادية التي تسمح له بمباشرة سياسة علمية حقيقية .

اما الصين ، بالمقابل، فتبدو وكأنها تتابع جهداً جماعياً يجب ان يوصلها الى لعب دور مهم في السنوات المقبلة . وتحليلنا لا يمكن ان يكون شاملاً ؛ ولهذا فلن يتعرض لاحوال بعض الدول مثل استراليا ، أو لبلدان تسير في طريق النمو مثل اندونيسيا وافريقيا السوداء .

ان الاستنتاج الاساسي الذي يتحصل من مثل هذه الدراسة ، هو التأويل، المتمادي في ضيقه ، للتقدم العلمي وللشروط الاقتصادية والاجتماعية . ان العلم ، وهو دولي بروحه وبطبيعته ، يجب ان يساهم بصورة فعالة في تقدم البشرية جمعاء . ان التعاون المخلص الذي يقوم بصورة تدريجية بين علماء كل البلدان يبدو بالتالي افضل عامل من عوامل السلام .

الفصل الأول

الحياة العلمية في اوروبا الغربية

قبل محاولة استخلاص الخطوط الكبرى لنمو البحث العلمي في اوروبا الغربية بخلال القرن العشرين لا بد من تحليل اولي للوضع في مختلف البلدان .

هذه الدراسة السريعة تبين لنا ان الشروط العامة للحياة العلمية ، المختلفة نوعاً ما بحسب البلاد ، في مطلع القرن ، تنزع في الوقت الحاضر إلى الاصطفاف في صف واحد تحت ضغط الأمر الواقع الذي يدفع بكلّ امة إلى وضع وانتهاج سياسة علمية حقيقية .

المانيا ـ لقد حللنا في المجلد السابق الاسباب الرئيسية التي تفسر النهضة الاستثنائية للعلم في المانيا بخلال القرن التاسع عشر . هذه الاسباب نفسها : فعالية التنظيم الجامعي اللامركزي ، والمجهز بصورة عقلانية ، وتدفق العديد من الطلاب الالمان والاجانب المميزين ، وعدد وقيمة المنشورات العلمية من كل نوع ، غزارة المصارف الجامعية والخاصة المعروضة على الباحثين ، الدعم المهم جداً الذي تقدمه الصناعة ، سيطرة متزايدة للغة الالمانية في عالم العلم ، ثم قوة المانيا السياسية الموحدة ، كل ذلك عمل بقوة حتى الحرب العالمية الاولى . ثم ان معاهد البحوث الالمانية ما تزال تجتذب نخبات الباحثين من كل الهويات ، الراغبين في اكمال تأهيلهم . واذا كانت بعض مراكز البحوث الاخرى في الغرب قد نجحت في سبق أو في التعادل ، بالفعالية والشهرة ، مع المؤسسات الالمانية من نفس الاختصاص ، فان العلم الالماني يظهر ، بشكل متوسط تفوقاً لا جدال فيه ، خاصة في المجالات التي تبدو فيها العلاقة وثيقة بين النظرية والتطبيق الصناعي مثل : الكيمياء العضوية ، والتعدين ، والكهرباء، إلخ .

ومنذ اندلاع الحرب العالمية الاولى بدا تفوق المانيا في معظم فروع التقنيات ، عاملاً مهماً جداً ، سواء على الصعيد العسكري الخالص ام على صعيد تموين الشعوب المدنية . لقد اسندت المانيا إلى باحثيها مهمة حل العديد من المسائل العلمية والتقنية التي طرحتها متابعة العمليات الحربية ؛ وكان العلماء العظام مثل الكيميائي فريتز هابر F. Haber يشرفون على هذه الاعمال .

وعلى اثر انتصار الحلفاء كان العلمَ الألماني في وضع أقلّ مستوى . ولكن الجامعات

ومراكز البحوث الالمانية سرعان ما استطاعت ان تستعيد نشاطها السابق وان تجتذب من جديد الباحثين من الشبان الاجانب .

لا شك ان المختبرات الالمانية ، وقد لقيت منافسة من قبل بعض الانجازات الغربية ، لم تنجح في استعادة تفوّقها الساحق الذي كان لها قبل الحرب ، ولكنها عرفت رغم ذلك حقبة جديدة من التألّق . في مجال الفيزياء بشكل خاص ، فإنّ مراكز مثل غوتنجن ، بمعاهدها الرائعة في الفيزياء تحت اشراف اساتذة عظام مثل جامس فرانك Franck وماكس بورن Born ، ومثل برلين Berlin ومعهدها ، معهد قيصر ويلهلم ، او مثل ميونخ وليبزغ تميّزت بإشعاع استثنائي .

ولكن في سنة 1933 كان لمجيء هتلر اثر معيق بصورة تدريجية للحريات الجامعية التقليدية ، في حين ضربت التدابير العرقية أو هددت قسماً من الجهاز التعليمي . وبخلال بضعة اشهر ترك أكثر من ثلث الفيزيائيين الكبار المانيا للذهاب اما إلى الغرب واما في معظمهم إلى الولايات المتحدة . هذا النزف العنيف اقترن بهبوط مواز في اعداد الطلاب الاجانب . وسرعان ما منعت مناهج بحوث عديدة ، وتدهور الانتاج الاصيل بسرعة في بعض المجالات . وبعض العلماء امثال لينارد وستارك ايدوا هذه السياسة وحيوا مجيء العلم الآري الجديد . وبخلال هذه الحقبة ، وبخلال السنوات الخمس من الحرب العالمية الثانية حققت بعض مراكز البحث في المانيا ، رغم كل شيء ، اكتشافات مهمة خاصة في مجال الصواريخ وفي مجال الكيمياء الغذائية ولكن مجموعات البحث الحليفة ، الاغنى من حيث نوعية العلماء، نجحت في أغلب الأحيان في التفوق على الالمان .

في اواخر الحرب كان العلم الالماني في مأزق ، بعد ان دمر معظم المختبرات أو تخرب بشكل خطير ، وبعد ان اختفى العديد من الباحثين ، الذين هجروا نهائياً أو استخدمتهم المرافق العلمية في الدول المنتصرة . وقسمت المانيا ، بحدود اخذت تتزايد قطيعتها فيما خص المبادلات الفكرية . ورغم ذلك ان اسناد جائزة نوبل في الفيزياء في سنة 1961 إلى ر . ل . موسبور ، وهو عالم شاب ابن اثني وثلاثين سنة ، تخرج سنة 1955 من المعهد التقني في ميونيخ ، يدل على قيامة سريعة .

في حين كانت البنية في الاجهزة العلمية ، في الجمهورية الديمقراطية ، قريبة من بنية الديمقراطيات الشعبية الاخرى ، مع دور قيادي ممنوح لأكاديمية العلوم في برلين الشرقية ، جهدت الجمهورية الفدرالية في اعادة تكوين وفي انعاش المؤسسات الاكثر فعالية في التنظيم القديم مثل : الجامعات ، ومعهد ماكس بلانك (الذي ضم بشكل خاص اليه معاهد كارل ويلهلم القديمة) ، اتحاد المتبرعين (ستيفترڤربند Stifterverband) ، مختبرات الصناعة ، الخ . وعلى نفس الموازاة قامت اجهزة مركزية وتخطيطية وخاصة الجمعية الالمانية للبحث ، وكلفت بتنسيق جهود البحث وتقديم الاستشارة في هذا الموضوع الى الحكومة وإلى المؤسسات الكبرى .

المملكة المتحدة ـ ان التقارير العديدة حول التعليم والبحث العلمي المقدمة في انكلترة بخلال القرن التاسع عشر قد ركزت على التفوق البارز الذي حققته المانيا في هذا المجال ،

واسفت لقلة الاهتمام الذي تبديه الدوائر العليا البريطانية في هذا المجال بالنسبة إلى المسائل العلمية . الواقع انه ، في اواخر القرن التاسع عشر ، إذا كان التعليم العالي العلمي في انكلترا اقل تطوراً واقل فعالية ممّا كان عليه في المانيا ، فان تحسيناً واضحاً قد حدث بفضل انشاء العديد من المؤسسات التعليمية ، وانشاء العديد من المراكز التي اجتذبت ، مثل « مختبر كافنديش » في كامبريدج ، العديد من الباحثين الاجانب من ذوي القيمة . بخلال السنوات الاولى من القرن العشرين ، استمرت هذه الحركة بفضل تطور الاجهزة القائمة ، مثل « ليسترانستيتيوت » و « ولكم ريزرش انستيتيوشن » ومثل المحطة التجريبية في روذامستيد ، الخ ، وبفضل انشاء العديد من المختبرات الجديدة الملحقة بالجامعات أو بوزارات تقنية .

ان الجهد المبذول ، بخلال الحرب العالمية الاولى قد ابرز هذا الاتجاه ، وقد سجل المجلس الاستشاري (1915) مرحلة مهمة باتجاه تنسيق جهود البحث . وعملت الرغبة في منافسة المنشآت الالمانية الصناعية ، بعد الحرب ، على حمل الصناعات البريطانية الكبرى ، على المشاركة في نمو البحث التطبيقي . ان اهمية الدور الذي لعبه العلماء والتقنيون البريطانيون ، في الحرب العالمية الثانية في مجالات متنوعة مثل اختراع الرادار ، أو القنبلة الذرية ، أو التطبيق الاستطبابي للبنسلين ، قد اكدت فعالية سياسة علمية جيدة التأسيس ومزودة باعتمادات مالية مهمة . في الوقت الحاضر تعتبر انكلترة البلد الاوروبي الغربي الذي يكرس ، لهذا الشأن ، اكبر نسبة مئوية من موازنته الوطنية ؛ كما انه مزود بأجهزة تنسيقية أكثر تميزاً وأكثر فعالية والنتائج الحاصلة في معظم قطاعات البحث الخالص والتطبيقي تعادل هذا الجهد المقرون بتوسيع مهم للتعليم العلمي .

فرنسا ـ في مطلع القرن العشرين ، باشر العلم الفرنسي بتقويم واضح خاصة بفضل العديد من الرياضيين والفيزيائيين الموهوبين ، وبفضل اقامة منشأة جديدة للبحث البيولوجي والطبي ، هي مؤسسة باستور . الا ان بعض العقبات ما زالت تكبح اتساعه ومنها : المركزية المسرفة في بنياته ، وعدم كفاية الدعم المادي المخصص للبحث .

ان الحرب العالمية في سنة 1914 ، حين كشفت بشكل عنيف عن تفوق الجهاز العلمي والتقني الالماني ، حملت السلطات العامة على الاهتمام بصورة اقوى بتنظيم البحث . ان بعض الاجهزة التي انشئت بهذه المناسبة بقيت بشكل جديد بعد اعلان الهدنة . ومع ذلك ليس الا في سنة 1936 ، تم بذل جهد واسع من قبل حكومة الجبهة الشعبية . وانشىء منصب امين دولة مساعد للبحث العلمي . وتحت ادارة جان پرّان وا . جوليوت كوري وضعت هيكليات جديدة وتم تأسيس مركز وطني للبحث العلمي سنة 1938 .

ولكن الحرب العالمية الثانية وسنوات الاحتلال اوقفت عملياً هذا الجهد الذي لم يعد إلى النشاط الا سنة 1944 مع اعادة تنظيم المركز الوطني للبحث العلمي ، مع اعداد خطة شاملة للتجهيز . ومنذ ذلك الحين ، كان التقدم ثابتاً ، بفضل انشاء اجهزة جديدة مثل مفوضية الطاقة الذرية سنة 1948 ، وبفضل تحديث وتوسيع المنشآت القديمة ، ثم زيادة العون المالي من الدولة ،

اضافة الى سياسة لامركزية تتزايد وضوحاً . هذا الجهد سرَّعه سنة 1958 ، انشاء المندوبية العامة للبحث العلمي والتقني . وكلف هذا الجهاز في وضع الجرد المتواصل للطاقة العلمية الوطنية ، ويتتبع ، بشكل دائم ، تطور العوامل التي تتحكم بالتقدم ، ثمّ تنسيق نشاط مختلف منشآت البحوث وتقديم الدعم المالي المتزايد لها ، من اجل انتقاء ومن اجل القيام بسلسلة من الاعمال المتفق عليها ، في البحث .

ورغم ان هذا الجهد الواسع يبقى غير كاف ، الا انه غيّر بعمق بنيات البحث في فرنسا واتاح التغلب على قسم من الحواجز التي تحدد نموّه . ومن بين اهم اوجه الضعف الباقية ، تجب الاشارة الى نهضة بطيئة في بعض قطاعات البحث الصناعي والى المبلغ الضئيل جداً الذي يقدمه القطاع الخاص للبحث الاساسي .

البلدان المنخفضة ، بلجيكا وسويسرا ـ رغم عددهم الضئيل نسبياً ، نجح العلماء النرلنديون في اواخر القرن التاسع عشر في تحقيق اعمال اصيلة وعميقة من مجالات متنوعة جداً ، من مجالات العلم . وبعد ذلك بقي الانتاج العلمي في البلدان المنخفضة عند مستوى عال جداً ، مع الاخذ في الاعتبار ضيق رقعة الارض وهذه النتائج تعزى إلى نوعية التعليم العالي وإلى الدعم الدائم المقدم للبحث من قبل المؤسسات الصناعية الهولندية . فضلاً عن ذلك ، قامت لجنتان رسميتان الـ T. N. O التي انشئت سنة 1932 والـ Z. W. O التي انشئت سنة 1950 بمهمات التنسيق على التوالي بين مجمل البحوث التطبيقية وبين مختلف قطاعات البحث الاساسي . وتشهد النتائج الحاصلة حديثاً بفضل العلم النرلندي في مجالات متنوعة ، كالحساب الأوتوماتيكي ، والفلك الأشعاعي والفيزيولوجيا النباتية باستمرارية هذا التراث المتميز بنوعيته .

أمّا النهضة العلمية في بلجيكا فقد ظهرت متأخرة وكانت اقل تنوعاً . الا ان القرن العشرين شهد قيام العديد من المختبرات الرسمية والخاصة . واتاح الصندوق الوطني للبحث العلمي البلجيكي المؤسس سنة 1928 ، والمعهد من اجل تشجيع البحث العلمي في الصناعة والزراعة (1944) والعديد من أجهزة تنسيق انشئت سنة 1959 ، مساعدة الجهد العلمي والتنسيق فيما بينه . ان تطور معاهد سولفاي Solvay قد ساهم ايضاً في تحسين التجهيز العلمي في البلد . ومنذ سنة 1911 ، جمعت مؤتمرات سولفاي الشهيرة في الفيزياء في بروكسل الفيزيائيين الاعظم في العالم كله . وبفضل المناقشات الخصبة التي اثاروها كان لهذه المؤتمرات تأثير عميق في تطور الفيزياء الجديدة .

وكالبلدان المنخفضة ، كان لسويسرا امتياز احتواء عدد ضخم من العلماء العظام في القرن العشرين . والسبب الرئيسي الذي يفسر هذا الامر هو المستوى العالي في التعليم الجامعي ، المحظوظ بفضل جغرافية استثنائية عند ملتقى المناطق الثقافية الالمانية والفرنسية والايطالية . هذا المستوى تشهد له شهرة بعض الجامعات أو المؤسسات امثال مدرسة البوليتنيك الفدرالية في زوريخ . انما يجب ان نحسب حساباً ايضاً للدعم الثابت المقدم للبحث من قبل صناعة قوية ، وللتراث الليبرالي الذي جعل من سويسرا ملاذ العديد من المبعدين السياسيين ، ولحياد البلد الذي اتاح لها النجاة من حربين عالميتين . الا ان جهد التكيف بدا ضرورياً من اجل تذليل بعض

الحواجز الادارية امام المتطلبات الجديدة التي يقتضيها البحث العلمي والتقني .

اوروبا المتوسّط - في مطلع القرن ، امتلكت إيطاليا عدة مدارس علمية ناشطة جداً ، متوجهة نحو مختلف فروع البحث . فالتحليل الوظيفي والجيومتريا الجبرية ، والميكانيك النظري والكهرباء الاشعاعية ، والجيوديزياء وعلم الهزات الارضية (سيسمولوجيا) ، وعلم البراكين ، وعلم الفلك الشمسي ، والفيزيولوجيا العصبية ، ودراسة الامراض الطفيلية ، هي بعض هذه المجالات التي نجح العلم الايطالي في القيام بها والحصول على منتوج اصيل . وعلى نفس الموازاة ، قامت ادارات بحوث جديدة ولمعت مثل الفيزياء النووية حيث تم الحصول على نتائج مهمة منذ سنة 1934 بفضل مدرسة انريكو فرمي في روما .

الا ان هذا النشاط لم يستمر بشكل دائم ، فقد عانت ايطاليا بقسوة من الحربين العالميتين . فضلاً عن ذلك لقد اجتازت مرحلة طويلة من النظام الدكتاتوري ، الذي رغم انه ساعد مادياً بعض فروع البحث العلمي والتقني ، الا انه حدَّ بصورة تدريجية من الحرية الفكرية عند الباحثين ، وحمل بعضاً منهم على الهجرة من وطنهم . ولهذا رأت المدرسة الايطالية اللامعة في الفيزياء النووية ، نشاطها يتراجع بسرعة على اثر ذهاب أ . سيغري وب . پونتيكورفو ، وأ . فرمي ، تباعاً إلى الولايات المتحدة .

وبعد الحرب العالمية الثانية ، عاودت البحوث بسرعة مسيرتها ، وتم انشاء العديد من المختبرات الجديدة ، في حين اعيد بناء المؤسسات القديمة أو وسِّعت . ولكن في خلال السنوات الاخيرة فقط ، تم القيام بجهد خاص من اجل تغيير نمط بنيات البحث العلمي ، الذي بدا مجمله كثير التعقيد ، ومركزياً بشكل غير كاف .

انشىء « المجلس الوطني للبحوث » سنة 1923 ، وهو المركز الرئيسي للبحث الاساسي . ومع تدخله مباشرة في انشاء وفي ادارة العديد من المختبرات ، فانه يهدف الى تنسيق مجمل الفروع المتنوعة في البحث الخالص والتطبيقي . واحتفظت مراكز ومعاهد البحوث المضمومة إلى الجامعات بنوع من الاستقلالية ، خاصة عندما نجحت في الحصول على الدعم المباشر من الصناعة . وتلعب اللجنة الوطنية من اجل البحوث النووية ومعاهد البحوث المختلفة الملحقة بوزارات تقنية ، خاصة « المعهد العالي الصحي » النشيط جداً ، ايضاً دوراً اساسياً في مجالات مختلفة . ولكن الخصوصية الاكثر اصالة في البحث العلمي في ايطاليا - على الاقل بالنسبة إلى بلدان اوروبا الاخرى الغربية - ضخامة البحث الصناعي ، والتعاون الوثيق القائم بين الجامعة والصناعة .

ومن الامثلة الاكثر دلالة على خصب مثل هذا التعاون هو انشاء فرع جديد حديثاً للكيمياء الجزيئية الكبرى (macro- moléculaire) ، ودراسة البوليمير التكتيكية ، المكثفات التراتبية (ايزو- تاكتيك وسنديو - تاكتيك) وانعدام التراتبية ، على اثر البحوث الجارية منذ سنة 1955 من قبل ج . ناتّا وتلاميذه في مدرسة بولتكنيك في ميلانو ، بواسطة المساعدة المالية التي تقدمها مؤسسة صناعية مهمة . فضلاً عن اهميتها النظرية البالغة ، أتاحت هذه الاعمال ، التي ما تزال في اوج تطورها ،

انتاج العديد من انواع البلاستيك والأنسجة التركيبية الجديدة .

ويوغوسلافيا التي عرفت نهضة علمية مميزة نوعاً ما بين الحربين العالميتين ، عانت بشكل مأسوي من الحرب العالمية الثانية . وقد استوحت بآن واحد ، من المثل السوفياتي ومن التجارب الغربية ، فتبعت سياسة ناشطة في مجال النمو العلمي والتقني إلى اقصى حدود إمكاناتها .

ورغم الجهود الأكيدة ، انما غير المنسقة بشكل كاف ، لم تستطع اليونان ان تكيف مجمل تجهيزاتها العلمية لتماشي مع متطلبات العلم الحديث .

اما اسبانيا والبرتغال ، فرغم النجاحات غير المنكورة ، خاصة في مجال الطب والفيزيولوجيا ، فقد بقيتا في موقع أقل حظاً من الأمم المجاورة . إلا أن المجلس الأعلى للاستقصاءات العلمية في مدريد قد بذل جهداً تنسيقياً وتوسعا علميا اخذت نتائجه تظهر .

البلدان السكندينافية ـ كما هو حالها في اواخر القرن التاسع عشر استمرت البلدان السكندينافية تحتل مكانة مشرفة جداً في مسار التقدم العلمي . ان نمو منشآت التعليم العالي واجهزة البحث بآنٍ واحد هو نتيجة جهد دائب بذلته السلطات العامة بالتعاون الثمين مع المؤسسات الصناعية والمؤسسات الخاصة مثل مؤسسة كارلسبرغ ومؤسسة نوبل. فضلاً عن ذلك أن سمعة بعض العلماء امثال ن . بوهر وهـ . فون اولر وآ . تيسيليوس حملت العديد من الباحثين الاجانب على اجراء تدريباتهم في مؤسسات البحوث الموضوعة تحت اشرافهم . واخيراً وبفعل ان جوائز نوبل في الفيزياء والكيمياء تعطى على مسؤولية الاكاديمية الملكية للعلوم في السويد ، وجوائز نوبل للطب والفيزيولوجيا يعطيها المعهد الطبي الجراحي « كارولين » في ستكهولم ، فقد ساعد كل هذا حتماً في تقوية قيمة البحث العلمي في البلاد الشمالية .

أوروبا الوسطى ـ حتى سنة 1919 ، كان معظم بلدان اوروبا الوسطى في وضع سياسي قلما يساعد على قيام حياة علمية ناشطة ومعظم علماء هذه البلدان من ذوي القيمة ، انضموا إلى المجموعة القوية التي تتكلم الالمانية او ارتحلوا عن أوطانهم . وبعد اعلان الهدنة ، فان الاتصالات الوثيقة التي قامت بينهم وبين الأوساط العلمية في الغرب قد أتاحت تطور ونمو التعليم العالي ونشاطات البحوث [1] . الا ان تطور معظم هذه البلدان واتجاهها نحو النظم التسلطية حدّ من هذه الحركة التوسعية . وحدها تشيكوسلوفاكيا ، بقيت حتى سنة 1938 على النظام الديمقراطي ، فاستطاعت ان تتبع مسار البلدان الاكثر تطوراً . وقطعت الحرب العالمية الثانية بعنف هذه الجهود التي عاودت نشاطها من جديد فيما بعد على اسس مختلفة . فبعد انتقالها إلى منطقة النفوذ الثقافي السوفياتي ، اعادت الديمقراطيات الشعبية تنظيم تعليمها وتنظيم مؤسساتها

---

(1) نذكر بشكل خاص المدارس المشرقة الرياضية التي نمت في رومانيا وخاصة في بولونيا . اما هنغاريا ، فقد ولُدت عدداً استثنائياً من العلماء العظام هاجر معظمهم الى خارج وطنهم . نذكر فقط اسماء العالمين الرياضيين ف . رايزوج . فون نيومان ، ومن الفيزيائيين ل . زيلارد وأ . تلّر ، ومن البيوكيميائيين ل . زكمستر وآ . زنت ـ جيورجي ، والكيميائي ج . فون هيڤيسي .

للبحوث وفقاً لبنية شبيهة بـالبنية المعتمـدة في الاتحاد السـوفياتي . وبـالمقابـل حاولت النمسـا ان تكيف مع احتياجاتها ومع امكاناتها طرق التنظيم المعتمدة في الغرب .

* * *

ان أوروبـا الغربية ، كممكن للعلم الحديث ، كانت ما تزال في قمة التقدم العلمي في مطلع القرن ، وهي تبدو اليوم مسبوقة قليلاً من قبل بعض المختبرات القوية الاميركية والسوفياتية .

من المؤكـد ان الخسارة في الارواح البشـرية ، والـدمار والانقـلابات السيـاسية والاقتصـادية والاجتماعية التي ادت اليها حربان طويلتان قد بطّأت واعاقت مسـار التقدم . ومن المؤكـد ايضاً ان العديد من العلماء الاعلام ، قد هاجـروا ، لاسباب متنـوعة ، الى الـولايات المتحـدة ، مما افقـر بالتالي وإلى حد كبير ، الطاقة العلمية الاوروبية . وليس من المنكـور القول اخيـراً بان نمـو البحث العلمي الحـديث يتطلب ، في بعض المجالات ، وسائـل مادية وماليـة تستطيـع تأمينهـا فقط الدول الكبرى .

ولكن مجمـل وضع اوروبـا على الصعيد العلمي اقـل ظلامـاً مما يـوحي به التفـوق الحـالي لأميركا وللاتحاد السـوفياتي . الواقع ان العلماء الأوروبيين ما يـزالون يلعبـون دوراً حاسمـاً في تطويـر الكثير من المجالات . فضلاً عن ذلك ان معظم البلدان الاوروبية قد اتبع سياسة علمية سوف تظهر نتـائجها الخصبـة في وقت قريب . واخيـراً سوف تتيـح انجازات جمـاعيـة اتخـذت على الصعيـد الاوروبي مثـل المجلس الاوروبي للبحوث النـووية (C. E. R. N) والاوراتـوم والمنظمـة الاوروبية للبحوث الفضائية ، للامم الاوروبية ان تنافس ، في مستقبـل قريب ، العمـلاقين في مجال البحث العلمي الحديث .

مراجع الفصل الأوّل

P. AUGER, *Tendances actuelles de la recherche scientifique*, Unesco, 1961; *Angewandte Forschung in der Bundesrepublik Deutschland*, Wiesbaden, 1958; D. S. L, CARDWELL, *The Organisation of Science in England*, Londres, 1957; *L'organisation du progrés scientifique en Grande-Bretagne*, Londres, 1961; P. PIGANIOL et L. VILLECOURT, *Pour une politique* scientifique, Paris, 1963; A. J. BARNOW et B. LANDHEER, éd, *The Contribution of Holland to the* Sciences, New York, 1933; E. FUETER, *Grosse Schweizer Forscher*, Zurich, *1934; L. SILLA, éd., Un secolo di progresso scientifico italiano*, 7 vol., Rome, 1939-40; *Il Consiglio Nazionale delle Ricerche*, Rome, 1954; S. LINDROTH, *Swedish men of science*, Stockholm, 1958; W. MEISEN, *Prominents Danish scientists*, Copenhague, 1939; *Nobel. The Man and his Prizes*, Amsterdam, 1962.

الفصل الثاني

العلم والحياة في الاتحاد السوفياتي

لقد رسمنا في المجلد السابق الشروط الاجتماعية لنمو العلم في روسيا قبل الحرب العالمية الاولى . وقد حدث تحول جذري سنة 1917 ، بعد الثورة الاشتراكية الكبرى في أوكتوبر . وكانت الظروف الاجتماعية الجديدة تساعد على نمو العلم الذي تصاعد مترافقاً مع التقدم الصناعي والثقافي في البلد .

ان المهمات الكبرى في الاقتصاد الوطني بعد 1917 قد وضع صيغتها ف.إ. لينين، في « رسيمات خطة الأعمال العلمية والتقنية » (1918) . وكان المهم قبل كل شيء التنبؤ بتوزيع عقلاني للصناعة على أرض الوطن ، ثم خلق ظروف تؤمن تموينها بالمواد الأولية الأساسية . وتم توجيه اهتمام خاص نحو كهربة الصناعة ، والنقل والزراعة ، واستعمال القوة المائية والمحركات الهوائية ، على أن تتم خطة كهربة الاقتصاد الوطني ، المعتمدة سنة 1920 ، بخلال عشر إلى خمس عشرة سنة ؛ وقد تم تجاوزها في حوالي سنة 1935 .

وفي الثلاثينات، كانت البلاد مزودة بصناعتها الذاتية فيما خص الطيران والسيارات. فقد تم التوصل الى انتاج موتورات كهربائية ، ومحطات تلغراف لاسلكي وزجاج ابصاري ونشأت صناعة كيميائية حديثة .

خلقت هذه الانجازات الصناعية الشروط لنمو العلوم التجريبية ، ان الصفة التخطيطية للاقتصاد السوفياتي الاشتراكي قد اتاحت تحقيق نمذجة الانتاج ، على مستوى عال وواسع ، فيما خص الاجهزة والادوات العلمية ، ومن اجل بلوغ درجة عالية من الكمال ، خاصة في السنوات العشر الاخيرة على اثر تقدم علم الاتمته والمكننة .

وكان النمو السريع في مختبرات المصانع احد السمات المميزة للعلاقة الحميمة بين العلم والانتاج . فقد قام العديد من المؤسسات الصناعية بانشاء نظام كامل للدروس ، وللمدارس ، ثم تحولت الى نوع من المركب التعليمي باسم مصانع ـ جامعات .

ان الشبكة الكثيفة من المؤسسات العلمية المتخصصة ، وكذلك العمل الواسع في البحث

المحقق من قبل منشآت التعليم الرئيسية ، ومن قبل الجمعيات العلمية ، ومباشرة في المصانع لا يمكن ان يقارنا بالتجهيز العلمي التافه في روسيا القيصرية .

فمنذ سنواتها الاولى عمدت السلطة السوفياتية الى انشاء معاهد للبحوث ، وهي اشكال من التنظيم لم تعرفها روسيا القديمة .

وفي سنة 1918 تم تأسيس معهد الفيزياء والمعهد المركزي للقوى الهوائية والمائية المتحركة (كاهي CAHI) في موسكو ، ومعهد الابصار في لينينغراد . وكان اول مدير للكاهي هونيكولا جوكوفسكي N. Joukovski ، الذي سماه لينين (اب الطيران الروسي) ؛ وكان تلميذه الشهير س . تشابليغوين Tchaplyguine خليفته . ومن سنة 1918 الى 1920 تم تجهيز المختبر الكيميائي المركزي التابع للمجلس الاعلى للاقتصاد الوطني ؛ وقد اصبح هذا المختبر اليوم معهداً فيزيائياً كيميائياً كبيراً . في سنة 1921 ، وبناءً على مبادرة من الأكاديمي ڤ . آ . ستيكلوف Steklov ، وكان رياضياً مميزاً ، تم تأسيس المعهد الفيزيائي الرياضي التابع لاكاديمية العلوم ، في لنينغراد . وفيما بعد قسم هذا المعهد الى ثلاثة معاهد مستقلة يحمل احدها اسم مؤسسه .

وأصبح التعليم ديمقراطياً على نطاق واسع . واصبح التعليم العالي في متناول مختلف طبقات المجتمع . ومن اجل التسريع في تأهيل المثقفين الجدد ، نظمت « الكليات العمالية » (رابفاكس rabfaks) وهي مدارس اعدادية للعمال وللفلاحين الذين لم يصلوا الى الدراسات الثانوية . واصبحت هذه المدارس عديمة الفائدة بعد 1930 ، وذلك بعد ان انتشر التعليم الثانوي انتشاراً واسعاً ، وازداد عدد مؤسسات التعليم العالي من مئة وخمس مؤسسات سنة 1914-1915 الى 739 مؤسسة سنة 1960-1961 ، وارتفع عدد الطلاب من مئة وسبعة وعشرين الفاً إلى مليونين و 396 الفاً .

وانشئت في كل جمهوريات الاتحاد السوفياتي جامعات كان التعليم فيها يجري باللغة الام بالنسبة الى السكان . في حين ان كازا خوستان واوزبيكستان ، وكيرجيزيا وتادجيكستان وتركمانيا لم يكن لديها قبل الثورة لا مدارس عليا ولا حتى مدارس تقنية . في سنة 1960-1961 بلغ عدد طلاب المدارس العليا في هذه البلدان 229 الفاً ، 181 الفاً في المدارس الخاصة اي ما يعادل 88 و 70 تلميذاً في كل 10000 نفس وسطياً . اما جورجيا التي لم تكن تمتلك جامعة قبل الثورة ، ففيها الآن 18 مدرسة عليا و 179 مؤسسة للبحث العلمي .

ان توزيع مؤسسات البحث ، والكادرات العلمية قد تغير تماماً . فقد تم انشاء العديد من المعاهد أو الفروع ، والمحطات ، والمختبرات الصناعية والريفية في المناطق المناجمية ، وفي المراكز الصناعية الجديدة وفي المناطق الزراعية .

وبناءً عليه ، في سنة 1918 تم انشاء مختبر الراديو في نجني ـ نوفغورود (غوركي) حيث عقد سنة 1922 أول مؤتمر راديو تقني . في حين قبل سنة 1917 لم يكن لدى هذه المدينة لا جامعة ولا مركز بحث ، اما اليوم فهي تمتلك جامعة وعدداً كبيراً من المدارس العليا (بوليتكنيك ، طب ،

تربية، الخ) ،ومعاهد للبحث ، ومختبرات ، الخ . ان القرية الصغيرة المسماة كوزلوف Kozlov (وهي اليوم تدعى ميتشورنسك Mitchourinsk) في حكومة تامبوڤ Tambov ، قد تحولت الى مركز مهمّ لانتقاء ولتدجين الشجيرات والاشجارالمثمرة .

وتم انشاء مراكز علمية في المناطق الشمالية القصوى . في سنة 1932 كان معظم مؤسسات اكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي موجوداً في موسكو وفي لينينغراد . وابتداء من هذا التاريخ بدأت الاكاديمية تفتح فروعاً لها في مختلف اجزاء البلاد (الشرق الاقصى ، مناطق الاورال ، الخ) .

من جراء هذا ارتدت البعثات العلمية مظهراً جديداً . من قبل كانت الرحلات نادرة يقوم بها علماء من العاصمة ، أو من المراكز الجامعية الاخرى باتجاه الاقاليم البعيدة . اما اليوم فهناك سعي لاقامة تعاون مستقر بين الباحثين من مختلف الاختصاصات القاطنين في مختلف ارجاء البلاد .

وتم الحفاظ على الاحتياطات الطبيعية ـ وخاصة احتياطي دولة استراخان ، واحتياطي ايلمين في الاورال ، وقد تم انشاؤهما سنة 1919 ـ وقد اصبحت هذه الاحتياطيات الطبيعية مراكز ناشطة للبحوث البيولوجية .

واستغنت امكانات الرصد الفلكي كثيراً بفضل بناء مراصد جديدة ، مزودة بمعدات ممتازة وموزعة في مختلف جمهوريات الاتحاد ، خاصة في المناطق الاكثر ملاءمة من الناحية المناخية والانوائية مثل : جزيرة القرم ، وارمينيا وجيورجيا وكازاخستان ، الخ . ان الشبكة الرصدية قد امتدت ايضاً كما تم انشاء العديد من المحطات في الزوايا الاكثر بعداً في البلاد .

واصبحت أكاديمية العلوم ، خاصة بعد نقلها من لينينغراد الى موسكو سنة 1934 ، المركز الرئيسي العلمي في كل الاتحاد السوفياتي . والحقت بها غالبية الجمعيات العلمية الكبرى التي كانت موجودة من قبل (الجغرافية ، الفيزيائية الكيميائية ، والفلكية) ، وكذلك عدد كبير من الجمعيات الجديدة .

وتم انشاء عدد كبير من الاكاديميات في الجمهوريات المتحدة باعتبارها فروعاً من اكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي وفي الوقت الحاضر ما تزال مثل هذه الاكاديميات العلمية موجودة : في أوكرانيا (1919) ، وفي بيلوروسيا (1929) ، وفي ليتوانيا (1941) ، وفي جيورجيا (1941) ، وفي ارمينيا (1941) ، وفي اوزباكستان (1943) ، وفي أذربيجان (1945) ، وفي ليتونيا سنة (1946) ، وفي استونيا (1946) ، وفي كازاخستان (1946) ، وفي تاجيكستان (1951) ، وفي تركمانيا (1951) ، وفي كيرجيزيا (1954) ، وفي مولدافيا (1961) .

واعتبر تأسيس الفرع السيبيري لاكاديمية العلوم سنة 1958 في نوڤوسيبرسك Novosibirsk حدثاً مهماً . فهذا الفرع يتضمن 40 مؤسسة علمية في نوڤوسيبرسك ، وفي إيركوتسك Irkoutsk ، الخ . وهو على اتصال دائم مع جامعة نوڤوسيبرسك ، المنظمة حديثاً .

هذا المركز الجديد المهم علمياً هو في مشرق الاتحاد السوفياتي ، ويشرف على ادارته

الاكاديمي م . آ . لافرنتيف، وهو متخصص عظيم في مادة الرياضيات الخالصة والتطبيقية ؛ وهو يعالج منذ الآن برنامج عمل واسع . وهكذا فإن القسم من علوم الفيزياء الرياضية ، الذي يضم بين معاونيه العديد من العلماء من المرتبة الاولى ، وضع ضمن مخطط عمله حوالى 60 مسألة .

ان اكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي توجه البحوث الاكثر اهمية في مجال العلوم الطبيعية والاجتماعية ، بالاتصال مع مؤسسات علمية اخرى مثل اكاديميات الجمهوريات المتحدة ، والاكاديميات المتخصصة : العلوم الزراعية (المؤسسة سنة 1929) ، العلوم الطبية (1944) ، العلوم التربوية (1943) ، وكذلك العديد من المعاهد ومن المدارس العليا التابعة للوزارات . وفي سنة 1961 تم انشاء لجنة خاصة لدى مجلس الوزراء في الاتحاد السوفياتي ، من اجل تنسيق البحوث بين كل هذه المؤسسات .

يوجد اليوم في الاتحاد السوفياتي ما يقارب من 4200 منشأة علمية (منها 1830 معهد بحوث) واكثر من 400000 عالم في حين ان روسيا القديمة قلما كان لديها أكثر من عشرة الاف عالم .

ان مثل هذه الزيادة العددية لم تكن لتحصل الا بفضل النمو وبفضل تطوير التعليم العالي . فبذات الوقت الذي كان يتم فيه تأسيس جامعات جديدة ، كان يعاد النظر في كل شيء في المراكز القديمة . وعلى هذا فبين 1949 و 1953 ، استكملت اقدم جامعة روسية ، جامعة موسكو ، بابنية جديدة تضمنت 148 قاعة درس واكثر من الف مختبر علمي مزودة باجهزة متناهية الحداثة (تجهيزات الكترونية ، أدوات ابصارية خاصة ، اجهزة اشعة X ، غرف لدراسة الانعكاسات المشروطة ، تفاعليات ايضية ، الخ) .

وداخل المدارس العليا ومعاهد البحوث ، هناك مراكز خاصة انشئت للطلاب ، الذين بعد انهاء دراساتهم العادية ، يتابعون طيلة ثلاث سنوات في التخصص في مجالات معينة بتحضير اطروحة « ترشيح في العلوم » ، والمرتبة العليا هي مرتبة دكتوراه . في سنة 1961 كانت روسيا تعد 11300 دكتور و 102500 مرشح منهم عدد من النساء ، في حين كانت الطالبات العلميات نادرات جداً في الحقبة القيصرية .

ولا يمكن اغفال الدور المهم الذي يلعبه في الحياة العلمية المعهد الكبير ، معهد التوثيق العلمي والتقني ، الذي أسس سنة 1952 ، داخل أكاديمية العلوم . وتدون مجلاته الشهرية وتحلل الكتابات العديدة التي تصدر في الاتحاد السوفياتي وفي الخارج .

ان النمو العددي والاتساع الجغرافي في المنشآت العلمية اتاح تحقيق مجموعات دراسات متخصصة مكرسة لوصف الثروات الطبيعية في الاتحاد السوفياتي : النباتات (ابتداء من سنة 1934) ، الحيوانات (ابتداء من سنة 1935) ، جيولوجيا ، الخ . في حين كانت الكشوف الجيولوجية في سنة 1917 مقصورة فقط على 10,25% من التراب الوطني ، في سنة 1945 بلغ هذا المعدل المئوي 72,8 .

لقد تحقق عمل ضخم من اجل دراسة ومن اجل تقييم القطب الشمالي ، والتدابير الرئيسية

في هذا المجال كانت تأسيس معهد القطب الشمالي (1925) ، ثـم تجهيز المحطة القطبيـة الأبعـد شمالاً في العالم في جزيرة رودولف (1933) ، ثم استثمار الطريق البحري الشمالي (1932-1935) ، التشطيط على ركيزة في المحطة القطبية « القطب الشمالي » 1937-1938 ، انحراف كاسحة الجليـد سيدوف من بحر لابتيف نحو بحر غرونلاند (1937-1940) ، أعمال المحطات العلمية « القطب الشمالي رقم 3 » و« القطب الشمالي رقم 4 » ابتداء من سنة 1954 .

وضمن نفس سياق الافكار ، تجب الاشارة الى البحوث المحققة بخلال السنوات الاخيرة ، في القطب الجنوبي ، في اطار اعمال السنة الجيوفيزيائية الدولية .

كـل هذه التجـديدات التقنيـة ، التي جرت على اساس عـريض نـظري ، قـد اغنت العلوم باكتشافات جديدة ومهمة ، وقد ساعدت على تشكيل وعلى نمو فروع جديدة في الرياضيات ، وفي الميكانيك وفي الفيزياء وفي الكيمياء . ويمكن ان نذكر كمثل المدرسة الهوائية المائية الـديناميكيـة لِـ جوكوفسكي وتشابليغوين ، التي حلت عدداً كبيراً من المسـائل النـظرية المهمـة . مع مشـاركتها بشكل فعال جداً بتقـدّم الطيران .

ومن بين ممثلي هـذه المـدرسـة نـذكـر رئيس اكـاديميـة العلوم لسنـة 1961 م . ڤ . كلديش Keldych ، وس . آ . كـريستيـانـوفيتش Christianovitch . ان بحـوث س . ل . مـانـدلستـام Mandelstamm ، ون . د . پـاپالكسي Papaleksi ، وآ . آ . انـدرونوڤ Andronov ، في مجـال الذبذبـات غير الخـطية أدّت إلى تجـديدات مهمـة في التقنية الاشعـاعية . ان الأعمـال الأساسيـة التي قام بها آ . ف . يوفي Ioffé المكرسة للموصـلات النصفية قـد وجدت لهـا تطبيقـات عدة تقنيـة . يجب ان لا ننسى ان كـل هذه الاسمـاء تـرمـز الى مجمـوعـات كـاملة والى مـدارس من البـاحثين المنصرفين الى نفس المهمة .

وهكـذا اذن ، وعلى مـوازاة حـل إلمسـائل الكبرى ذات الاهميـة العمليـة ، حقق العلمـاء السـوفيات نجـاحاتٍ ضخمـة في المجالات الاكثـر تنوعـاً في العلم النظري . وعـدا عن الاعمـال المهمة التي قام بها الريـاضيون ، يمكن ذكـر اعمال علمـاء الفلك في مادة علم الكـون وعلم نشأة الكون (كوسموغوني) ، واعمال الفيزيائيين في دراسة المسـائل الاسـاسيـة في نـظرية النسبيـة وفي الميكانيك الكمي .

وكـذلك في مجـال العلوم البيولـوجية ، الى جـانب التجارب الـواسعة في مجـال الاقلمـة ، وادخـال زراعـات جـديـدة ، ورفـع المـردود الزراعي ، وابتكـار اشكـال جـديـدة من النبـاتـات والحيوانات ، عكف العلماء على دراسة مسائل اصل الحياة ، والوراثة وتشكل الانواع ، الخ .

وفي مجمله تميز نمو العلم في الاتحاد السوفياتي بخلال الـ 45 سنة الأخيرة ، بخـلاف حالـه في الحقب السابقة ، بدراسة كل المسـائـل العلمية الحـديثة على المستوى الواسـع ، وبتزايـد عدد الباحثين بسـرعة كبيرة . واذا كانت الاكتشافـات الكبرى ، في المـاضي ، من صنع الافـراد (يكفي التذكير بمثل لوباتشفسكي Lobatchevski) ، أو من صنع مجموعات صغيـرة من العلماء ، فـاننا ،

في الوقت الحاضر ، وفي كل الفروع العلمية تقريباً ، نجد مدارس ناشطة واتجاهات ، تدل على وجود تراث علمي متين .

نذكر ـ على سبيل المثال ـ في الرياضيات المدارس الكبرى في نظرية الدالات (ن . ن . لوسين Lusin) والطوبولوجيا (پ . س . الكسندروف، ل . س . پونترياغين Pontriaguine) ، والنظرية البناءة للدالات (س . ن . برنشتين) ، ونظرية الاعداد (ي . م . ڤينوغرادوف Vinogradov) ، ونظرية الاحتمالات (آ . ن . كولموغوروف) ، ونظرية المعادلات التفاضلية (ي . ج . بتروڤسكي وس . ل . سوبوليف) ، والتحليل الدالي (ج . م . غلفاند Guelfand) ، والمنطق الرياضي (پ . س . نوڤيكوف ، آ . آ . ماركوف الابن) . ان ضخامة البحوث الرياضية يمكن ان تتوضح برقمين : يذكر الاحصاء (غير المكتمل) للكتابات المنشورة بين سنة 1917 و 1957 ، 22000 عمل صادر عن 3600 مؤلف .

في مجال الفيزياء النظرية ، يكفي ان نذكر المدارس العاملة في مجال نظريات الفيزياء النووية (ي . آ . تام Tamm) ، ونظرية الجزئيات الأولية (ل . د . لاندو) ، والفيزياء الاحصائية (ن . ن . بوغوليوبوف Bogoliubov) ، وفي النظرية الكمية للحقل (ڤ. آ. فوك) .

وفي مجال الفيزياء التجريبية ، اشتهرت بشكل خاص مدارس پ . ل . كاپيتسا Kapitsa (الظاهرات في درجات الحرارة المنخفضة جداً) ، ي . ڤ . كورتشاتوف Kourtchatov (الفيزياء النووية) وس . إ . ڤاڤيلوف Vavilov (دراسة اللمعان) .

في الكيمياء نلحظ مدارس ن . د . زيلنسكي Zelinski وآ . ن . نسميانوف Nesmeianov (الكيمياء العضوية) ، ون . س . كورناكوف Kournakov (تحليل فيزيائي كيميائي) . ون . ن . سيمينوڤ Semenov (الحركية الكيميائية) . في مجال العلوم البيولوجية ، كان لمدرسة ي . پ . پاڤلوڤ Pavlov ، « وللتوجيه الميتشوري » شهرة كبيرة .

وتشكلت مدارس عديدة في الجمهوريات المتحدة . نذكر كمثال مدارس الباتو ـ فيزيولوجيا عند آ . آ بوغومولتز Bogomoletz ، والبيوكيميائي آ . ڤ . پالادين Palladine والعالم بالبصريات ڤ . پ . فيلاتوف Filatov في اوكرانيا ، ومدرسة ڤ . آ . أمبرسوميان Ambartsoumian (علم الفلك النجومي) في ارمينيا ، ومدرسة ن . ي . موسكيليشڤيلي (نظرية المطاطية ، والمعادلات التكاملية) في جيورجيا .

لقد وجهت الحرب العالمية الثانية ضربة قاسية جداً إلى نمو العلم . ولكن ، بعد نهاية هذه الحرب بقليل ، تمت اعادة انشاء العديد من المؤسسات العلمية ، وبالوقت ذاته تم تأسيس معاهد جديدة ، أو اكاديميات .

وعالجت بعض الاعمال الحديثة بنجاح المسائل المطروحة ضمن فروع جديدة مثل السيبرنيتية ، وصنع الحاسبات الالكترونية .

ومن بين اهم الانجازات في العلم السوفياتي ، في الازمنة الاخيرة ، يجب ذكر التحكم بالطاقة الذرية . ان اول مركز صناعي يعمل بالطاقة الذرية قد دخل مجال الخدمة في دوبنا سنة 1954 . وفي كانون اول سنة 1959 أطلقت سفينة « لينين » وهي اول كاسحة جليد ذرية في العالم ، من لينينغراد .

ونجد شهادة اخرى رائعة تدل على نمو العلم في الاتحاد السوفياتي ، من خلال اطلاق اقمار صناعية وصواريخ كونية ، وكذلك اعمال البحوث التي امكن تحقيقها . اطلق اول قمر صناعي وزنه 83,6 كيلوغرام ، في 4 تشرين اول سنة 1957 . بعد ذلك بقليل (في تشرين ثاني) وضع في مدار الارض قمر صناعي ثان يبلغ وزنه 508,3 كيلوغرام يحمل كائناً حياً هو الكلبة ليكا Laika ، ومجهز بأجهزة اكثر اكتمالاً . اما القمر الثالث فقد اطلق في 15 أيار سنة 1958 . وفي 2 كانون الثاني 1959 أطلق أول صاروخ كوني أصبح أول قمر صناعي يدور حول الشمس . والصاروخ الثاني الذي أطلق في 12 أيلول 1959 وصل الى سطح القمر . وبفضل مدارية الصاروخ الثالث المزود بمحطة بين الكواكب ، اوتوماتيكية ، تم بنجاح ، ولأول مرة في 4 تشرين اول 1959 تصوير السطح غير المرئي من القمر . ولتحقيق هذا ، كان من الواجب اعطاء الصاروخ الأخير سرعة تقارب 11 الف متر في الثانية ، مع دقة تعادل 5 امتار في الثانية ، ثم تثبيت الاتجاه الاساسي بدقة تبلغ عدة دقائق زاوية . وفي 12 شباط 1961 اطلقت محطة فضائية اوتوماتيكية باتجاه الزهرة . وانتهت سلسلة التجارب المنهجية بواسطة المركبات سبوتنيك (والتي بدأت في 15 أيار سنة 960،)وتوجت بأوّل رحلة فضائية حول الأرض حققها يوري غاغارين Youri Gagarine في 12 نيسان 1961 . وتلت هذه الرحلة رحلة هـ . تيتوف Titov الذي دار في 6-7 آب 1961 اكثر من 17 دورة حول الارض بخلال خمس وعشرين ساعة . وبين 11-15 آب 1962 حقّق أ . نيكولاييف Nicolaev وپ . پوپوفيتش Popovitch طيراناً مزدوجاً في الفضاء ، عندما دار الاول اكثر من 64 دورة حول الارض بخلال 95 ساعة والثاني 48 دورة في 71 ساعة . ان كل هذه النجاحات التي حققها العلم والتقنية الاشتراكيين نتجت عن الجهد الجماعي للعلماء والمهندسين والعمال في الاختصاصات الأكثر تنوعاً بإشراف الحكومة السوفياتية .

مراجع الفصل الثاني

Bolschaïa Sovietskaïa Entsiklopedia («Grande Encyclopédie soviétique»), t. 50, S.S.S.R. («U.R.S.S.»), 2e éd., 1957, XV; *Nauka i nautchnyé outchrejdenia* («La science et les institutions scientifiques»), pp. 430-507; bibliograpie, pp. 507-510; *Ludi rousskoï nauki* («Les grands savants russes»). *Matematika, Mekhanika, Astronomia, Fisika*, Moscou, 1961; *Geologuia, Geografia*, Moscou 1962; *Matematika v SSSR za sorok let* («Mathématiques en U.R.S.S. pendant les quarante dernières années») t. I et II, Moscou, 1959.

الفصل الثالث

العلم في الولايات المتحدة في القرن العشرين

السمة الابرز في العلم الاميركي ، بخلال القرن العشرين هي ضخامة اتساعه ، من حيث حيويته ومن حيث نوعيته . واذا كان من نافل القول اليوم اعتبار الولايات المتحدة كاحدى الدول التي تشارك اكثر من غيرها في تطور العلوم الاساسية ، فان هذا الواقع قلما كان متوقعاً منذ قرن فقط .

كان جوزف هنري ـ وهو احد العلماء النادرين من الاميركيين العظام في القرن الماضي ـ على حق حين تأسف لكون الولايات المتحدة « رغم امتيازها في تطبيق العلم على الفنون الحياتية التطبيقية ، فان القليلين من علمائها ، يكرسون انفسهم للعمل الدؤوب وللجهد الصابر ، الجهد الفكري الضروري لاكتشاف ولتحقيق حقائق جديدة » .

ان التغير الكمي والنوعي الحاصل في العلوم الاميركية قد تكشف عبر عناصر متنوعة .

فعدد الاشخاص الذين دخلوا في مجال البحث العلمي الخالص والتطبيقي يتزايد بما يعادل 6% كل سنة ـ وكانت التوقعات ان يصل عدد العلماء الى مليونين ونصف في سنة 1970 ـ في حين ان العدد العام للعمال لا يزيد الا بمعدل 1,4% في السنة . وعدد العلماء والمهندسين من مستوى الدكتوراه ارتفع من حوالي 4 الاف في سنة 1900 إلى 87 الفاً سنة 1960 ويبدو انه بلغ 168 الفاً سنة 1970 مما يدل على نمو يعادل 7% في السنة . ويذكر ان هذه النهضة لم تتم على حساب مجالات اخرى في الثقافة ، اذ أنّه ما بين 1914 و 1959 ارتفع المعدل المئوي لشهادات الدكتوراه (Ph. D) الممنوحة في العلوم ، من 48 إلى 57 بالمئة فقط .

هذا التزايد في عدد المشتغلين بالعلوم قد اقترن بزيادة في عدد أعضاء الجمعيات العلمية وبزيادة منتظمة في عدد التجمعات .

قامت « الجمعية الاميركية لتقدم العلم » بمحاولة تشكيل اتحاد من هذه الجمعيات العلمية الوطنية : فمن سنة 1948 إلى سنة 1955 ارتفع عدد هذه الجمعيات المنتسبة إلى الـ A. A. A. S. من 208 إلى 265 . وفي سنة 1961 كان هناك ما يقارب من مليوني شخص قد انتسبوا إلى الـ A. A. A. S. ، مما جعل هذه المؤسسة الأوسع والأهمّ في المنظمات العلمية الدولية .

وعدد المنتسبين الفرديين إلى A. A. A. S. هو مؤشر على تطور المهن العلمية في الولايات المتحدة . عند تأسيسها كانت الـ A. A. A. S. ، في سنة 1848 ، تضم 461 عضواً . وفي عيدها الخمسين كانت تضم الفين . وبعد ذلك بتسع وعشرين سنة ، في برهة دخول الولايات المتحدة في الحرب العالمية الاولى قارب هذا العدد تسعة آلاف . وبعد ذلك أخذ يتسارع هذا النمو : وفي سنة 1948 بلغ العدد 42 الف عضو فردي ثم 60 الفاً في سنة 1960 .

واكدت دراسة تناولت نمو 60 مؤسسة علمية رئيسية وتقنية اميركية بخلال الثلاثين سنة الماضية ، هذه الملاحظة ودلت انه بخلال هذه الحقبة تزايد عدد اعضائها بمعدل 8% في السنة . وتدل الجمعيات المتخصصة في الفيزياء والالكترونيك على نمو أسرع ، إذا تضاعف عدد المنتسبين اليها ستة اضعاف ، في حين ان معدل التزايد في الشركات الاخرى العلمية لم يتجاوز 3,5 بالمئة .

وهناك عناصر أخرى يجب اخذها في الاعتبار ، فقبل الحرب العالمية الثانية كان معظم الفيزيائيين يعملون في التعليم وفي البحث الجامعي ، وكان اقل من ثلث حاملي الدكتوراه في الفيزياء يتوجهون نحو المختبرات الحكومية أو الصناعية . وبعد الحرب أخذ الوضع يتغير بشكل محسوس واخذ معظم الفيزيائيين المتخرجين حديثاً يكرسون كل وقتهم للبحث العلمي في مختبرات الدولة أو الصناعة . وحدث تغير مشابه ، وان كان اقل وضوحاً في كل مجالات العلم .

وهناك واقع اكثر تميزاً ايضاً هو التنامي السريع للنفقات المتعلقة بالبحث العلمي والتقني . بخلال العقد الاخير زادت هذه المخصّصات بما يعادل 15 بالمئة في السنة في حين ان معدل النمو الوسطي في الانتاج القومي لم يكن الا 3,5 بالمئة . والنفقات في هذا المجال تحملتها قطاعات الاقتصاد العام والخاص المختلفة ، والجامعات . والتوسع الابرز ، حصل في الحقبة التي تلت الحرب العالمية الثانية . في سنة 1938 كانت النفقات في هذا المجال قد بلغت 264 مليون دولار (كان نصيب الحكومة منها 48 مليوناً ، اي 18 بالمئة ؛ والصناعة ، 177 مليوناً ، اي 67 بالمئة ؛ والجامعات 28 مليوناً اي 11% ؛ موارد اخرى 11 مليوناً ، اي 4%) . ومنذ هذا التاريخ تضاعف هذا العدد العام باكثر من 40 ضعفاً ، فالاموال من مصدر حكومي اصبحت تغطي اكثر من النصف : 9 مليارات في سنة 1961 ، اصل مجموع عام مقداره 14 ملياراً .

والمعونات الممنوحة للبحث الاساسي تعادل 8 بالمئة من هذا المبلغ ، وهي في معظمها من منشأ حكومي ، رغم ان معظم هذه البحوث يجري في الجامعات .

ان حقب التوسع السريع في هذه الامدادات قد توافقت مع حقب المتطلبات العسكرية الملحة . فالنفقات العسكرية انتقلت من 74 مليون دولار في السنة إلى 1,6 مليار بين 1940 و 1945 ، وكان معظم هذه الزيادة مخصصاً لانجاز القنبلة الذرية . وأدّت حرب كوريا إلى توسّع سريع في موازنات البحث العلمي والتقني من اجل تقوية الأمن القومي . وفي سنة 1958 قفزت مخصصات البحث العلمي والتقني قفزة جديدة على اثر اطلاق اول سبوتنيك .

لا شك ان النفقات المخصصة للبحث الخالص قد تزايدت ببطء اكثر من المخصصات التي تخدم مباشرة الاهداف العسكرية . في هذه الاثناء كانت المؤسسات الوطنية للصحة ، والمؤسسة

الوطنية للعلم تستفيد من الاهتمام المتزايد الذي يوليه الجمهور للعلم ، فاستطاعت تحقيق برامج واسعة في البحث العلمي . وارتفعت موازنة المؤسسات الوطنية للصحة تسعة اضعاف ، منذ انشائها قبل الحرب العالمية الثانية بقليل .

وبخلال السنوات الاخيرة قوّت الحكومة الفدرالية دورها الاشرافي فموّلت بحوثاً في مختبرات الدولة كما مولت مؤسسات غير رسمية ، ويبدو ان مقدار المعونات الحكومية استمر متزايداً تحت ضغط الاحتياجات . من ذلك ، وبخلال هذه الحقبة ، احتل تنظيم البحث العلمي وإعداد علماء جدد مكانة تتزايد أهميتها في السياسة القومية . والمسألة الأكثر إثارة للجدل تقوم على تقييم أثر هذا التوسع السريع على نوعية العمل العلمي .

في آخر الحرب العالمية الثانية انذر ف . بوش Bush ، وهو أحد العلماء المسؤولين عن الجهد العلمي زمن الحرب ، مواطنيه فقال : « إن تفوّقنا في مجالات البحث التطبيقي وفي مجال التكنولوجيا يجب ألاّ ينسينا أنه في مجال البحث الخالص وفي اكتشاف معارف جديدة أساسية ، ومبادىء علمية ركيزية ، لا تحتّل الولايات المتحدة مركز الصدارة » .

ان تبعية اميركا لاوروبا ، في مجال التقدم العلمي الركيزي ، وفي تأهيل علماء أكفاء ، يعود إلى القرن التاسع عشر وقلّما تغير الوضع بخلال العقود الاولى من القرن العشرين .

لقد بالغ ي . ي . رابي Rabi في تقدير التغيير الحاصل بهذا الشأن عندما صرّح « عندما ذهبت إلى اوروبا لأول مرّة ، منذ ربع قرن كنت ريفياً . وعندما عدت اليها بعد الحرب بدت اوروبا وكأنها هي التي تحوّلت إلى ريف » .

وعلى كلٍّ أصبح هذا التغيير بارزاً جداً اليوم واهميته تعكس التغييرات في الدعم المالي الممنوح للعلم الأميركي ، وكذلك في نشاط هذا العلم . ممنذ 1901 وحتى سنة 1939 نال العلماء الاميركيون من اصل 128 جائزة نوبل منحت في الفيزياء والكيمياء والطب والفيزيولوجيا ، خمس عشرة جائزة فقط . وبين 1943 و 1961 نال الاميركيون 47 جائزة من أصل مئة وجائزتين من جوائز نوبل .

نهضة العلم الاميركي . المنعطفات الحاسمة ـ في مطلع القرن بقي نشاط العلم الاميركي محصوراً جداً .

في سنة 1902 ذكر ك . سنيدر Snyder أنه ، رغم وجود بعض الشخصيات العظيمة ورغم تحقيق بعض النتائج المشهودة ، لم تلعب اميركا إلا دوراً ثانوياً في مجال العلم . ولكنه لم يعتقد أن هذا الوضع ناتج عن قصورٍ في نظام التربية ، فأميركا قلّما كانت مسبوقة إلاّ من قبل المانيا في ما خصَّ عدد مؤسسات التعليم العالي الشهيرة .

وقد حاول العديد من العلماء توضيح اسباب هذا التخلف المستمّر في اميركا ، في مجال العلوم الركيزية .

ويأسف الفيزيائي هـ . آ . راولاند Rowland « ان يُذيب قسم كبير من المفكرين ، في هذا

البلد ، انفسهم في متابعة علوم تسمى عملية ، تنزع إلى سد احتياجاتنا الجسدية ، في حين لا يعطى الا القليل من المال الى القسم الاساسي في هذا المجال الذي لا يحتاج إلا إلى ذكائنا » . واعتقد ان الاميركيين يخلطون بين العلم وبين الاختراع الميكانيكي . وعلى كل ، كان نشاط المجموعات العلمية الاميركية يحفزه على الامل بان هذا النقص في الفكر العلمي لن يدوم .

ورغم ان الفلكي سيمون نيوكومب Simon Newcomb كان ينتقد أيضاً مجمل العلم الاميركي ، الا انه آمن بتحسن وشيك . وقد توقع ان يسد تأسيس « معهد كارنيجي » في واشنطن الهوة القائمة بين العلماء ورجال الحكم . هوة جعلها هو المسؤولة عن سوء الفهم البارز تجاه العلم من قبل المسؤولين عن الحياة العامة . ان العلاج الذي اقترحه نيوكومب كان بسيطاً ومباشراً : جعل واشنطن مركزاً فكرياً .

وسهل اندلاع حرب 1914 جهود الذين كانوا يحاولون اصلاح العلم الاميركي . وقامت لجنة برئاسة ج . أ . هال باقناع الرئيس ولسون بانشاء « مجلس البحوث الوطني » ، من اجل تطوير التعاون بين مختلف مرافق البحث القائمة ، حكومية أو جامعية أو صناعية ، الخ . وبالتالي تقوية الدفاع الوطني . وكان هال Hale ، الذي اشتهر كفلكي ومدير لمرصد جبل ويلسون ، صاحب بداهة رائعاً ومنظماً . وبناء لطلبه ، في سنة 1916 ، قدمت الاكاديمية الوطنية للعلم ، مساعدتها لرئيس الولايات المتحدة . وكان هال يظن ان العلم يستطيع المساعدة على الخروج من مازق حرب الخنادق بفضل وضع اسلحة من نمط جديد ، ومن اجل التوفيق بين البحث الخالص والتطبيقي ، استعان « مجلس البحوث الوطني » بمهندسين من المؤسسات الرئيسية للبحث الصناعي .

وعندما تفاقمت العلاقات بين الولايات المتحدة والمانيا ، في مطلع سنة 1917 ، استعان هال بالفيزيائي ر . آ . ميليكان Millikan الذي اصبح المشرف الرئيسي على « مجلس البحوث الوطني » . في بداياته ، لم يحصل مجلس البحوث الوطني على معونة من الحكومة ، واضطر إلى اللجوء إلى الأموال الخاصة . وقدمت مؤسسة كارنيجي ، ومؤسسة روكفلر المساعدات الأولى وفيما بعد تلقى المجلس مساعدة حكومية ، ولكن المعونات الخاصة ظلت تغطي القسم الأكبر من ميزانيته .

في مطلع 1918 ، اقترح مجلس البحوث الوطني تأسيس « مصلحة البحث الاعلامي » (R. I. S) . وحصلت هذه المصلحة على انشاء مراكز لملحقين لدى السفارات في لندن وباريس . وكان المشرفون على هذه المصلحة يرون ان العلم الاميركي ما يزال يتبع إلى حد بعيد العلم والتقنية العسكرية الاوروبيين .

وكان مجهود البحث بخلال الحرب العالمية الاولى قد اختلف حول تقييمه . لا شك ، ان الحاجة إلى الحصول على نتائج آنية ، جعلت البحث الاساسي في المرتبة الثانية ، وحملت الطاقم العلمي في الكليات ، والجامعات والصناعة ، على التوجه نحو الجهد الحربي ، على حساب البحوث الأخرى . ولكن البعض اعتقد أن هذا النقص قد عوّض إلى حدٍ بعيد « بالانجازات

المدهشة التي فرضها ضغط الضرورة والتي بيّنت فضل الامكانات الاقتصادية للبحث العلمي » .

وبعد نهاية الحرب ، رغب المشرفون على « المجلس الوطني للبحوث » في تمتين النتائج الحاصلة ، من اجل اعطاء العلم الاميركي ، مكانة تشبه المكانة التي احتلتها الولايات المتحدة على الصعيد السياسي الدولي . كتب أحدهم: « لن يكون لنا علم موازٍ لاهميتنا ، الا عندما تعتمد الجامعات الاوروبية تجديداتنا » .

الواقع ان « المجلس الوطني للبحوث » استمر كفرع في « الاكاديمية الوطنية للعلم » ، مع اعضائه الخصوصيين ، الذين جاؤوا من 79 شركة علمية اشتركت في انشائه . ورغم ان مركزه الرئيسي في واشنطن وانه يتمتع بملاك شبه رسمي ، فقد كان يمول بالكامل بأموال خاصة ، ولا يمتلك تنظيماً مركزياً فيه القوة من اجل تنسيق النشاطات العلمية . فضلاً عن ذلك ، كان العمل الحكومي في المجال العلمي مقصوراً جداً بخلال العقد الذي تلا الحرب : فلم تتجاوز الاعتمادات الممنوحة للبحث العلمي والتقني معدل 2% من الموازنة الفدرالية أي مبلغاً سنوياً مقداره 50 مليون دولار .

في هذه الاثناء اطلقت نداءات عدة من اجل انتهاج سياسة علمية . واوصى ڤ . كيلُوغ Kellog ، مدير « المجلس الوطني للبحوث » ببذل الجهود المتضافرة من أجل حل بعض المسائل العلمية . ونادى ك . كومبتون Compton بالتخطيط ، من أجل استخدام الطاقة العلمية الى اقصى حد .

وادى الانهيار الاقتصادي الكبير ، في سنة 1930 ، إلى تقهقر سريع في الدعم المالي ، الممنوح للبحث العلمي . وفهم هـ . هوفر Hoover اهمية العلم ، واذا كان لم يقدم معونات فدرالية ، فانه قد اهتم في توجيه الاموال الخاصة للمساعدة في تطوير العلم الخالص . وجهد من أجل هذا ، في الاستعانة بالمصلحة الشخصية لعالم الاعمال . فقال: « ان مصارفنا جميعاً ، تقدم للمصلحة العامة في سنة اقل مما تقدمه اكتشافات فاراداي Faraday لنا في يوم واحد » . وحتى في سنة اشتداد الازمة 1932 ، ظنّ هوفر ان البحث العلمي سوف يقلب في النهاية الاتجاه ، ويحقق انتاجاً وازدهاراً أكبر .

في البداية لم يعرف « النيوديل » الذي اعلنته ادارة الرئيس روزفلت ، أي موقف يجب اعتماده تجاه البحث العلمي . في المدى البعيد ، يمكن لهذا ان يكون مفيداً؛ ولكنه لم يبد قادراً على تقديم العون المباشر للاقتصاد المتأزم . وكان الوزير الجديد للزراعة هـ . آ . والاس Wallace ، هو الذي اقترح سياسة علمية ناشطة .

قال : « لقد حول العلم القلة إلى فيض . وكونه قد خدمنا جيداً ، لا يسمح بجعله مسؤولاً عن عجزنا عن توزيع الانتاج وفقاً للاحتياجات وبالتالي التوزيع العادل لثمار الفيض » . وكان والاس يعطي لكلمة « علم » معنى واسعاً جداً ، بحيث تغطي العلوم الاجتماعية وعلوم الطبيعة وتطبيقاتهما . وكان يعتقد ان سياسة « الحبل على الغارب » في المجال العلمي هي خطأ ، وأن

العلماء والمهندسين يجب ان يعوا الانعكاسات الاجتماعية لاعمالهم .

ودعي المشتغلون بالعلم الاميركي يومئذ إلى المشاركة في التجارب الاجتماعية لما سمي بـ « نيوديل » . وحلل « مكتب الاستشارات العلمية » ، المُنْشأ سنة 1933 ، ايام رئاسة ك . كومبتون ، وكان من انصار تخطيط العمل العلمي المتحمسين ، مختلف اوجه تنظيم حكومي للبحث . ووضع هذا المكتب فيما بعد ، برنامج عمل (برنامجاً شاملاً للتقدم العلمي) ، ركزَ على الاهداف الاجتماعية للعلم . وهدف إلى توحيد العلميين والتقنيين في سياسة « نيوديل » . ولكن هذه الاقتراحات لم تعتمد . وفي سنة 1935 ، حُلَّ المكتب ، دون ان يحصل من الحكومة على تمويل اعادة تنظيم البحث .

ومع ذلك ، وفي المرحلة الاخيرة من « نيوديل » ، تم تحقيق بعض مشاريع العون العلمي . وتحت ادارة « لجنة الموارد الوطنية » ، وضع تحليل دقيق لكل مظاهر البحث الحكومي ، في علاقاته بالنشاطات العلمية في الصناعة وفي الجامعات (البحث والموارد الوطنية ، 1938) . وبخلال سنة واحدة ، تجاوزت الموارد الموضوعة تحت تصرف اللجنة العلمية ، مبالغ المعونات المقدمة بخلال عقد « الانهيار الاقتصادي » .

وهكذا ، عند اعلان الحرب في اوروبا ، كان العلم الاميركي افضل تنظيماً ، وكانت علاقاته مع الحكومة والمجتمع قد فهمت بصورة افضل . في هذا الوقت دعي العلم الاميركي للتصدي للبحث في خدمة الحرب . هناك واقعة أثّرت كثيراً في التطور العلمي في الولايات المتحدة ، هي سلوك المانيا النازية تجاه العلم . ان الجامعات الالمانية الكبرى ، وهي مراكز عالمية للتربية العلمية ، جاءتها عدة اجيال من الاميركيين تكمل تأهيلها العلمي فيها ، قد انتقلت لتصبح تحت السيطرة السياسية للنازيين .

ولم يُكتفَ فيها بفرض الرقابة ، بل ان اساتذة غير آريين قد طردوا منها ، أو وضعوا في مواضع صعبة . بين 1933 و 1938 ، استبعد اكثر من 1800 عالم موهوب ـ ربعهم على الاقل من حملة جوائز نوبل من الالمان ـ من الجامعات الالمانية ومن النمسا ، في حين تناقص عدد الطلاب في العلوم بمعدل الثلثين . وهاجر الكثير من العلماء المبعدين إلى الولايات المتحدة ، فقووا في الموارد في مجالات التعليم والبحث العلمي .

وأحد التغييرات الاكثر اهمية التي حققتها الحرب ، يكمن في تنظيم عمل البحث . فقامت مجموعات للبحث العملياتي تتضمن العديد من العلماء ، تعالج المشاكل العسكرية المعقدة بواسطة التحليل العلمي . وقامت مجموعات اخرى فكلفت بوضع وبتحقيق انجاز سلاح جديد اساسي : القنبلة الذرية .

وأنشئت عدة اجهزة في السنوات الاولى من الحرب من اجل تنسيق المساعدات المهمة التي يقدمها العلم لتتلاءم مع البحث العسكري والتقني . وتضمن مكتب البحث والنمو العلمي (O. S. R. D) ، تحت اشراف ف . بوش ، بشكل خاص ، « لجنة بحث » من اجل الدفاع الوطني ، ولجنة بحث طبي . وقامت مجموعات من العلماء ، بموجب عقود معقودة مع هذه اللجان ، غالباً

في داخل الجامعات ، بحل مسائل مهمة . ومن بين النجاحات الاكثر بروزاً ، يجب ذكر تحسين الرادار .

والنشاط الذي تسبب ، في النهاية بقيام المأساة الاكثر دوياً، تسبب ايضاً بقيام نشاط هو من الاكثر خفاءً ، في الحرب . فقد كلف « قسم مانهاتن للهندسة » في « الهندسة العسكرية » بتنظيم هذا المشروع الضخم العلمي والصناعي الذي خرجت منه القنابل الذرية التي انفجرت في هيروشيما وناغازاكي . والفكرة ، تصورها فيزيائيون ، حول قنبلة من الاورانيوم ، لم تقبل الا بتردد من قبل الحكومة التي كانت تتردد في انفاق مبالغ ضخمة من اجل مشروع كان نجاحه غير اكيد . ولكن العلماء ، ومن بينهم العديد من اللاجئين من النازية ، نجحوا في اقناع المسؤولين بخشيتهم ان تتوصل المانيا الى انتاج هذا السلاح .

وكان المنعطف قد وقع في تموز 1941 ، والانجازات التي اشارت اليها مختلف المختبرات بدت وكأنها تجعل صنع القنبلة اكثر تحقيقاً ، من الناحية العلمية . وجاء تقرير من الانكليز ، يوحي بالامل بان قنبلة من حجم صغير تستطيع الطائرات الموجودة نقله ، يمكن صنعها بخلال سنتين . وكان هذا الرأي متفائلاً جداً ، بالتأكيد ، ولكن بخلال الاشهر التي سبقت ثم تلت دخول الولايات المتحدة في الحرب ، بوشر بدراسة منهجية لمختلف المسائل المتعلقة بهذا التحقيق . وجمعت مجموعات من الباحثين في مختبرات كولومبيا ، وشيكاغو وبركلي ، من اجل دراسة مختلف اوجه فصل النظائر ، وبناء « بطارية » ذرية في مشروع قنبلة الخ . وانشئت مدن بكاملها ، كيفما كان مثل « اوك ريدج » (تنيسي) وهانفورد (اوريغون) اصبحت مراكز مهمة للبحث وللتطبيق . وعلى جبل في لوس آلاموس Los Alamos (نيو مكسيكو) ، جمع ج . ر . اوبنهيمر Oppenheimer فريقاً من الفيزيائيين الموهوبين ، كما لم يوجد مثلهم في اي مكان آخر في العالم .

وفتح نجاح هذه المهمة ، تحقيق القنبلة الذرية ، فصلاً جديداً في تاريخ العلم . واعتبر رمزاً لدخول الانسان العصر النووي ، وكشف ان المشاركة العلمية ذات معنى سام جداً من حيث مسؤولياتها الاجتماعية . ودل هذا النجاح على ان العلم اخذ يلعب دوراً في الشؤون الحكومية وفي الحياة العامة . وكانت المبالغ المدفوعة من اجل انجاز القنابل النووية الاولى ، وهي من مستوى مليارين من الدولارات ، تتجاوز مجموع كل المعونات الفدرالية ، التي خصصت في السابق للبحث العلمي والتقني . والحدث الاكثر بروزاً والذي يجب ذكره ، هو ان اسيركا اثبتت قدرتها على الافادة من هذا المبلغ بفعالية ، رغم ان قسماً من العلماء الاكثر عظمة ، خلال فترة الحرب ، كانوا من المهاجرين امثال : ل . زيلارد ، وأ . ويغنر ، وأ . تلّر وأ . فرمي Fermi ، وج . فرانك Franck وأ . سيغري Segré ، الخ . ولكن لا يمكن انكار ان هذا الفريق تضمن ايضاً قسماً مهماً من الفيزيائيين من ذوي القيمة الذين ولدوا في الولايات المتحدة ومنهم : آ . هـ . ولك . ت . كومبتون ، وي . ي . رابي ، وج . ر . أوبنهيمر ، وف . بوش ، بنبريدج Bainbridge وج . كونانت Conant ، وأ . و . لورانس Lawrence ، وج . ت . سيبورغ Seaborg ، الخ .

في مطلع القرن العشرين لم تكن الولايات المتحدة تمتلك اي تنظيم علمي شامل ، ولكنها

بخلال الحرب العالمية الثانية اقامت مجتمعاً علمياً قوياً ، ومتنوعاً وغنياً بما فيه الكفاية بالادمغة ، من اجل تحقيق عجائب حقة علمية وتقنية .

في الصف الاول من العلم ـ ان الاضرار التي اصابت قسماً كبيراً من مؤسسات البحث الاوروبية ، وهجرة قسم من العلماء الاكثر بروزاً ، لا تفسر الا جزئياً كون الولايات المتحدة قد توصلت الى المرتبة الاولى في العلم العالمي . الواقع ان الجماعة العلمية التي كانت فيها في طور الحمل قد استفادت من الوسائل التي وضعت في تصرفها بخلال الحرب لكي تتبوأ هذا المقام .

يجب ذكر مجال خاص ، كشفت فيه الولايات المتحدة باكراً جداً عن تفوقها ، واستطاعت المحافظة على هذا التفوق حتى الآن ؛ انه دراسة الوراثة ، وعلم التوالد ، وهو اول قطاع في العلم قدم فيه الاميركيون مساهمات مهمة واصلية .

ان اكتشاف قوانين مندل Mendel سنة 1900 أدّى الى نمو دراسات تجريبية حول الوراثة . في سنة 1909 بدأ عالم الحيوان الاميركي العظيم ت . هـ . مورغان استقصاءاته في هذا المجال الجديد ، حيث لم يكن هناك اي تراث يدفع الطلاب نحو مركز بحث اوروبي متخصص . واجتذب علم الوراثة (Génétique) بشكل خاص الباحثين الراغبين في رؤية تحول البيولوجيا إلى علم واضح وتحليلي . وقدم مورغان Morgan لهذه البحوث الجديدة كل موهبته وكل نشاطه . فأنشأ في مختبراته في كولومبيا (وفي وودس هول خلال الصيف) فريقاً ناشطاً من الطلاب ومن المساعدين الشباب تصدوا لكل المسائل التي تثيرها بحوثهم .

وكانت النظرية الصبغية في الوراثة أولى النظريات (الكلاسيكية) في علم الوراثة التي تخرجت على يد مجموعة مورغان . وكان معاونوه الأولون هـ . ج . مولر Muller ، وآ . هـ . ستورتيفانت Sturtevant ، ولك . بريدجس ، من بين منشئي علم الوراثة الحديث ، ومن سنة 1910 إلى سنة 1927 ، تردد العديد من الطلاب الاجانب إلى مركز علم الوراثة في كولومبيا ، الذي اكتسب شهرة عالمية . ولم يكن ارتباط الوراثة بالجنس ، أو بالخارطة الجينية للصبغيات ، والمفاعيل الوراثية لتقسيم غير مكتمل للخلية ، الا بعضاً من أهم المساهمات التي قام بها هذا المختبر .

وقام اميركيون آخرون ، ربما مدفوعون بهذه الاكتشافات الجارية في بلدهم ، ببحوث في قطاعات أخرى من قطاعات علم الوراثة . درس ج . بيدل Beadle علم الوراثة عند الدروزوفيل (فصيلة أليفات الندى) إلى جانب ستورتيفانت . وكانت الأعمال التي حققها فيما بعد مع الكيميائي أ . ل تاتوم Tatum قد أكدت فرضية س . رايت Wright ، التي تقول ان الجينات تؤثر مباشرة في الأيض الخلوي . وأهمية هذه النتائج المحققة منذ سنة 1945 تأتي من مختبرات أميركية أو من باحثين تأهّلوا في هذه المراكز .

ورغم امكانية ذكر عظماء من رجال العلم الاميركيين في الفيزياء والكيمياء والرياضيات وفي علم الفلك ـ ومنهم كثيرون قد حصلوا على جوائز نوبل ، في اعمال انجزوها قبل الحرب العالمية الثانية ـ فان علم الوراثة ظهر وكأنه قطاع خاص اقام فيه الاميركيون تراثاً باكراً ومستمراً مميزاً في

نوعيته . الا ان الظروف التي أتاحت لمورغان ان يمارس تأثيراً كبيراً كهذا ، قد تحققت في حالات اخرى ، وذلك عندما قام عالم مخترع وبارع بمعالجة مسألة دقيقة في اللحظة الملائمة واستطاع ان ينتقي وان يحفز مجموعة من الطلاب والمعاونين النشيطين .

ذلك هو الفيـزيائي ي . ي . رابي المتـدرب في همبورغ في مختبـراً . سترن Stern ، حين وضـع تقنيات النـافورة الجـزيئية (1929) ثم وجَّـه فيما بعـد ، في جامعـة كولـومبيا ، بحـوث فـريق استكشف العديد من نتائج هذا الاكتشاف . وقد جذب عمقه وذكاؤه العديد من الفيـزيائيين الشبـان الاميركيين نحو هذا المجال الجديد والخصب من الفيزياء .

في هذه الاثناء لم تكن التجديدات الاساسية في الفيزياء الحديثة وليدة التربة الاميركيـة ، بل وليدة المراكز الاوروبية ذات التراث العلمي الغني . وبخلال العقود الثلاثة الأولى من هذا القرن ، كانت كوبنهاغن ، وكمبريدج في انكلترا ، وغوتنجن المراكز الاكثر نشاطاً ، حيث جـاء الاميركيـون الشبان يدرسـون على يد بوهر Bohr وروذرفـورد Rutherford وهيسنبرغ Heisenberg ، وغيرهم من المتـرجمين الجدد للطبيعـة . ان مساهمـات الفيزيـائيين الاميـركيين غـدت اكثـر عـدداً ابتـداء من سنـة 1930 ، والبعض من التجهيزات الجـديدة مثـل « سيكلوتـرون » أ . و . لـورنس في « مختبـر الاشعاع » في كاليفورنيا ، أخذت تلفت الانتباه .

ولكن التغييرات المهمة الحاصلة في مناهج البحوث والنفقات الضخمة المخصصـة للعلـم منذ بداية الحرب العالمية الثانية هي التي حملت الفيزياء الاميركية الى مكانة سامية .

وعلى موازاة خط النهضة التي عـرفها العلم في الـولايات المتحـدة ، برزت سمتـه العالميـة ونشطت ايضاً . وقد سمع النداء الذي اطلقه ك . كومبتون من اجل اعادة احياء المؤسسات العلمية ووسائل الدرس التي دمرتها الحرب ، واستجيب له جزئياً . واصبحت المحاضـرات العلمية دوليـة اكثر ، وقامت بحوث عديدة ، بذات الوقت ، في بلدان مختلفة .

ان المشاكل الاجتماعية الجديدة للعلم ، تهم كل الدول . فـالقوة ، والسـرعة والفعـالية هي المسائل الملحة التي تهم المجتمع ، اذ بدا ان العلم ، لا يتيح فقط تـوسيع مجـال المعارف ، بـل انه يستطيع ايضاً ان يخـدم في تقويـة الامن القومي . ان هـذا التطبيق الاخيـر يحدث ضغـطاً قويـاً يوشك ان يخطىء الاحكام . ان الرغبة في التقدم السريع وفي تحقيق تقدم تقني ومكاسب ، ليست بـالامر الجـديد في التـاريخ الاميـركي . انمـا هي التي الهمت ج . هنـري ، للـدفـاع عن البحث النظري . ان هذه الافكار ، لها جِرْس مألوف لدى عالم اليوم ، وتـرداداً لصدى هنـري ، بعد قـرن من الزمن ، لا يشك ف . بوش اطلاقاً بالمهمة الحالية .

« ان التمييـز بين البحث الخالص والتـطبيقي ، ليس لا جـامـداً ولا ثـابتـاً ، والبـاحثـون في الصناعة ، يمكن ان يواجهوا مشـاكل ذات طبيعـة نظريـة خاصـة . ولكن يجب التركيـز على واقعة وجود قانـون مضلل يتحكم بالبحث ؛ وهـو : تحت ضغط الحاجـة الى نتائج عملية آنيـة ، وما لم تتخذ احتياطات واعية وهادفة للاحتماء من هذا الضـغط ، فان « البحث التـطبيقي ، يقضي بالتـأكيد على البحث الخالص » . والعبرة واضحة : ان البحث الخالص هو الذي يستحق ويقتضي الحماية الخاصة وهو الذي يتطلب عوناً مؤمِّناً بشكل خاص » .

مراجع الفصل الثالث

B. BARBER, Science and the Social Order, Glencoe, ILL., 1952; R. S. BATES, Scientific Societies in the United States, New York, 1958, 2 éd.; W. R. BRODE, The Growth of Science and a National Science Program, *American Scientist*, 50, 1-28, 1962; J. E. BURCHARD (éd.), Mid-Century, *The Social* Implications *of Scientific Progress*, Cambridge, 1950; V. BUSH, *Science, The Endless Frontier*, Washington, 1945; réimpr., 1960; A. H. DUPREE, *Science in the Federal Government. A History of Policies and Activities to 1940*, Cambridge, 1947; R. G. HEWLETT, Oscar E. Anderson Jr., *The New World, 1939-1946*. Vol. *I: A History of the United States Atomic Energy Commission*, University Park, Pa., 1962; G. HOLTON, Scientific Research and Scholarship. Notes Toward the Design of Proper Scales, *Daedalus*, Spring, 1962, PP. 362-399; E. MENDELSOHN, Science in America... the 20th Century, in A. M. SCHLESIGER Jr et M. WHITE, éd., *The Path of American Thought*, Boston, 1963; National Resources Committee, *Research. A National Resource*, Washington, 1938; National Science Foundation, *Basic Research. A National Resource*, Washington, 1957; Id, *Federal* Funds for *Science X*, Washington, 1962; *Id., The Long-Range Demand for Scientific and Technical Personnel: A Methodological Study*, Washington, 1961; Id., *Organization of the Federal Government for Scientific Activities*, Washington, 1956; Id., Proceedings *of a Conference on Academic and Industrial Basic Research*, Washington, 1961; Id., *Tenth Annual Report*, Washington, 1960; D. J. de S. PRICE, Diseases of Science, *Science Since Babylon*, New Haven, 1961. PP. 92-124; D. K. PRICE, J. S. DUPRE, W. E. GUSTAFSON, Current Trends in Science Policy in the United States, *Impact of Science on Society*, 10, 187-213, 1960; D. K. PRICE, *Government and Science. Their Dynamic Relation in American Democracy*, New York, 1954; I. STEWART, *Organizing Scientific Research for War*, Boston, 1948.

الفصل الرابع

العلم في اميركا اللاتينية
القرنان التاسع عشر والعشرون

عرفت اميركا اللاتينية في القرن التاسع عشر وفي جزء من القرن العشرين ظروفاً قلما تساعد في مجملها على نمو الحياة العلمية .

انجز الاستقلال نهائياً سنة 1824 ، فيما خص المستعمرات الاسبانية القديمة ، التي رغماً عن جهود بوليڤار ، انتظمت كجمهوريات مستقلة . وبعد 1822 حصلت البرازيل على استقلالها واحتفظت بالشكل الملكي ، واعلنت امبراطوراً لها هو دون بدرو ابن ملك البرتغال . وبالمجموع انشئت ثماني عشرة دولة متفاوتة جداً في المساحة وفي الاهمية (عشرين الآن منذ استقلال كوبا سنة 1898 ، وتشكيل البناما ، بعد انقسام كولومبيا سنة 1904) وذلك على أنقاض الامبراطورية القديمة الاسبانية البرتغالية .

وبعد انتهاء حروب الاستقلال بدأت الحقبة المؤلمة حقبة الخصومات والنزعات العنيفة بين الدول من اجل رسم الحدود ، وكان من نتيجة ذلك انهاك الجميع . وادت الاضطرابات الداخلية الخطيرة إلى تعاقب الدكتاتوريات والثورات ، والاضطرابات التي اثارتها الظروف السياسية الجديدة ، والصراعات الاجتماعية والعرقية غالباً ، والظروف الاقتصادية المختلفة . ويبقى الانتقال الصعب من اقتصاد استعماري إلى اقتصاد حديث ، ومجيء المستوطنين الأوروبيين ، وتسارع وتيرة تزايد السكان ، كل ذلك يبقى كمشاكل حالية تعاني منها بلدان اميركا الجنوبية (في الوقت الحاضر يعتبر معدل تزايد السكان من الاعلى في العالم : 2,7% بين 1950 و 1960) . ويمكن الاعتقاد ان الكثير من القوة الحية قد استهلكت على هذا الشكل وبددت ، وفي اغلب الاحيان قد ضاعت بالنسبة الى العلم الذي كان استفاد منها في ازمنة اكثر هدوءاً .

ورغم الظروف المادية غير المساعدة ، ظلت النخبة في اميركا الجنوبية تحترم الثقافة احتراماً كبيراً ـ والقيمة المعنوية التي يتمتع بها في كل الاوساط حامل لقب دكتور ، تكفي للدلالة على ذلك ـ ؛ ولهذا بقيت الحياة الفكرية ناشطة .

ان الجامعات القديمة من المرحلة الاستعمارية ، وهي جامعات مكسيكو وليما وكيتو وبوغوتا

وكاراكاس وكوردوبا استمرت في العمل . والبعض منها تعصرن وتطور بإلحاق كليات جديدة . وتم انشاء جامعات جديدة بخلال القرن التاسع عشر والقرن العشرين . والارجنتين التي لم تكن تمتلك الا جامعة كوردوبا ، انشأت جامعة بوينوس ايرس سنة 1821، وجامعة توكومان سنة 1914، وجامعة ليتورال سنة 1919 . اما البرازيل التي لم يكن لديها جامعة زمن الاستعمار فقد انشأت جامعة ريو دي جنيرو سنة 1920 ، وجامعة برازيليا التي فتحت ابوابها سنة 1962 .

ولكن التعليم العلمي بقي لمدة طويلة قليل التطور . وفي كل مكان هناك نقص خطير في المختبرات وفي مراكز البحوث . ان شعوب اميركا اللاتينية تميل مزاجياً وتراثياً نحو المجالات الادبية اكثر من غيرها ، مع تفضيل خاص للحقوق ، اكثر من ميلها للعلوم وتطبيقاتها ، باستثناء الطب .

وللتعليم في كل المجالات صفة تعليمية ونظرية ، وهو عيب خطير خاصة بالنسبة إلى تعليم العلم . في الحقبة الممتدة بين 1898 و 1918 خرّجت جامعة تشيلي ، في بلد منجمي من الدرجة الاولى ، 1700 شهادة حقوق مقابل 22 شهادة مهندس .

فضلاً عن ذلك بقي العلم امتياز طبقة معيّنة ، ورغم انه منذ 1900 أصبح مجانياً والزامياً في كل الدول ، فان عدد الأميين بقي ضخماً .

ولكن العقود الأخيرة ، وخاصة بعد نهاية الحرب العالمية الثانية ، وبمساعدة ناشطة من الاونيسكو ، وحالياً بمساعدة من الاتحاد الاميركي من اجل التقدم ، بذل جهد كبير جداً من اجل نشر التعليم بين الجماهير ، بذات الوقت من اجل تجديد اساليبه ، وتكييفه ليماشي المقتضيات الحالية من خلال تطوير قطاع العلم والتقنية .

ودلت استقصاءات تناولت مجمل البلدان في اميركا اللاتينية ، انه في سنة 1960 ارتفعت النسبة المئوية في المدرسة الابتدائية (سن 6 إلى 13 سنة) ، الى 78% . ولكن التعليم الثانوي ، من مستوى عاطل عموماً ، لم يبلغ سوى عشرين بالمئة من الجماهير التي هي في سن الدراسة ؛ هذا في الارجنتين ، اما في البرازيل فالنسبة هي 7,7% . اما التعليم العالي فلم يحصل سنة 1960 الا على 3,1% من السكان بين 20 و 24 سنة . هذا الاستقصاء يدل أيضاً ان 4% فقط من الطلاب قد توجهوا نحو العلوم المحضة والعلوم الطبيعية ، و 18% نحو دراسة الهندسة ، و 21% نحو الطب ، و 2% نحو العلوم الزراعية .

ويمكن الاعتقاد ان جلب القطاعات العلمية قد تزايد بعد انشاء مؤسسات حديثة جداً مثل معهد الفيزياء الذرية في سان كارلوس دي باريلوتشي في الارجنتين ، ومدارس الجيولوجيا في بورتو اللغري ، وأووروبريتو وريسيف ، وهي مدارس مخصصة لتكوين مهندسين من اجل دراسة « متعدد الاضلاع الجاف » في البرازيل ، أومعهد الجيوفيزياء في مكسيكو . وفي العديد من البلدان تجمع المؤسسات الرسمية : « المجلس الوطني للبحوث العلمية والتقنية في الارجنتين » و « المجلس الوطني للبحث العلمي في المكسيك » ، و «المجلس الوطني للبحوث في البرازيل » الخ ، بين البحث العلمي والتقني .

الطب ـ الا ان اميركا اللاتينيـة ، منذ نهـاية القـرن التاسـع عشر ، قـد لعبت دوراً في التقدم العلمي ، وهو دور مهم بشكل خاص في الطب .

ان الطبيب كارلوس خوان فينلاي Finaly (1833- 1915) وكان يمارس مهنته في هافانـا وكانت يومئذ بؤرة الحمى الصفراء والملاريـا ، هو اول من اقتـرح سنة 1881 ان البعـوضة هي نـاقل مـرض الحمى الصفراء. وأتاحت اعمال لاحقة ـ لعب فيها طبيب آخر كـوبي هو خـوان غيتيراس Guiteras دوراً كبيراً ـ التثبت من هذه الفرضية ، وهكذا امكنت مكافحة هذا المرض المداري الخطير.

في البـرازيل كـان كارلـو شاغـاس Chagas (1879- 1934) ، مدير معهـد اوسـوالدو ـ كـروز ، يستقصي حول وباء الملاريا في مقاطعة ميناس جيراس ، فعـزل نوعـاً جديـداً من التريپـانوسـوم هو « تريبانو سوما كروزي » وهو سبب « مرض شاغاس » أو داء المثقبيات الأميركي .

وفي سنة 1947 ، اسندت جائزة نـوبل في الفيـزيولـوجيا والـطب ، بنصفها إلى الفيـزيولـوجي الارجنتيني ب . آ . هـوساي Houssay ، مـدير معهـد الفيزيـولوجيـا في كلية الـطب في بوينـوس ايرس ، من اجل اعماله حول القسم الامامي من الغدة النخامية في ايض السكر .

إلى جانب هذه الاعمال الشهيرة ، سـاهـم باحثـون عديـدون آخرون في تقـدم الطب ، وقـد مارست كليات الطب دائماً جذباً حياً على النخبة في اميركا الجنوبية .

علم النبات ـ ان الغنى الطبيعي في القارة الاميركيـة قد جـذب ، في القرن التـاسع عشـر ، العديد من العلماء الاجانب . ورعت الحكومات الفرنسية والانكليزية والروسية وغيـرها العـديد من البعثات العلمية .

نذكر من بين اهمها ، بعثة : غـوديشو ـ بـوبريـه Gaudichaud -Beaupré إلى البرازيـل وإلى الاكوادور والبيرو (1830- 1840) ، وبعثة شارل داروين إلى باتاغونيا ، ارض النـار ، شيلي ، بيرو ، وبعثة هـ . دي سوسـور de Saussure سنة 1855 إلى المكسيـك . وبين 1843 و 1847 قام هيـو ويدل H. Weddell ، بـاستكشاف جبـال الاندس وكـان أول من درس فيها النبـات . ونذكـر ايضـاً جـردة النبـاتات في الشيلي من قبـل ر . آ . فيليبي Philippi وك . رايش Reiche وبعثات الانكليـزي ر . سبـروس Spruce في وادي الأمازون . وهكـذا حققت معرفـة النباتـات في اميركـا الجنوبيـة تقدمـاً كبيراً ، ونشر العديد من الكتب ، خاصة حول النباتات المفصلة في العديد من البلاد .

وبذات الوقت ، وإلى جانب هذا الجهد الذي قام به الاوروبيون ، قامت حـركة نـاشطة تهتم بهـذه البحوث في دول اميـركا الجنـوبية حيث انشئت اجهـزة سـاهمت بنشـاط في الاحصـاءات وفي المنشـورات . وتأتي الارجنتين في طليعـة هذه الحـركة ، حين أسـست سنة 1823 متحفاً للتـاريخ الطبيعي ، واصدار مجـلات مثل (الحـوليات = أنـال) (1874) ، الفيزيـاء (1912) ، واقامـة كرسي للبوتانيك (لعلم النبات) في جامعة كوردوبا. وفي المكسيـك ايضاً ، تـأسس المتحف الوطني في مكسيكـو سنة 1866 ، واول كـرسي لعلم النبـات تـأسس سنـة 1911 في الجـامعـة واسنـد إلى ك .

رايش . وبعد ذلك اخذت تتكاثر المعاهد المخصّصة للعلوم الطبيعية وللعلوم الزراعية في العديد من البلدان .

علوم الارض ـ بدأ الاهتمام بعلوم الارض يظهر بصورة تدريجية بخلال القرن التاسع عشر ، ولكن الاعمال الاولى المهمة هي من صنع اجانب : داروين Darwin ، الاخوان غرانديديه Grandidier ، الالماني هـ . ستيفن Steffen ، الخ . ولكن البحث عن اشباه المعادن ، وفيما بعد البحث عن البترول والماء سوف ينشط الاستقصاء الجيولوجي . وتشكلت مجموعات اشباه معادن في المتحف الوطني في الريو ، وفي مدرسة المناجم في ليما في البيرو، واوروبريتو في البرازيل ، وهي مدارس اصبحت اجهزة ناشطة . ان المعهد الجيولوجي في مكسيكو ، المؤسس سنة 1891 ، قدّم مساهمة مهمة في معرفة علم الهزات الأرضية ، وذلك عندما أخذ ينشر منذ 1927، الخارطة الزلزالية في المكسيك ، وبذات الوقت تلقت الدراسات البركانية دفعة جديدة بظهور البركان پاراكوتين ، الذي تتبع فريق كامل من الجيولوجيين تدرّجه . وأتاحت دراسة المناطق المنجمية نشر خرائط جيولوجية جزئية للبيرو ولكولومبيا وللمكسيك وللبرازيل .

وفي الوقت الحاضر ، تمتلك غالبيّة الدول في اميركا اللاتينية معاهد متخصصة بمختلف فروع العلوم الارضية : معاهد جيوفيزيائية ، وجيوديزية ، ومحيطية ، ومعاهد للبحوث المنجمية .

وبمعونة من الاونيسكو ، نظمت اجتماعات عديدة للدراسات كل سنة في مختلف المدن حول مسائل مشتركة بين كل هذه البلدان من اميركا اللاتينية . وهكذا نظمت حلقات دراسية من اجل اعداد الخارطة الجيولوجية لاميركا اللاتينية ، وحول استكشاف وتقييم الموارد المائية الجوفية ، وحول الاراضي القاحلة في القارة الاميركية الجنوبية ، وحول علم المحيطات الفيزيائي وعلوم البحار .

وفي مجال علم الاحاثة ، تم الحصول على نتائج مهمة . فقد اكتشف هـ . ويدل ، في رحلته إلى الأندس عظاماً متحجرة من العصر البليستوسيني . وفي الارجنتين ، حقق ك . وف . آميغينو Ameghino ، ابتداءً من سنة 1887 عملاً عظيماً باكتشاف العديد من انواع الثدييات المتحجرة . وأخيراً في المكسيك تم اكتشاف انسان تيپكسپان Tepexpan سنة 1947 .

ان الاحداث السابقة لا تشكل سوى امثلة مأخوذة من بعض البلدان ومن بعض المجالات العلمية ، المختارة من بين الاكثر تمثيلاً . انها تدل على وجود حياة علمية ، في اميركا اللاتينية ، ذات علاقة وثيقة بأوروبا وبالولايات المتحدة ، وانها تبلغ في بعض القطاعات مستوىً عالياً .

لا شك ان النمو العلمي في بلدان اميركا الجنوبية يعاني من عدم تجدد التراث ؛ ثم انه فضلاً عن ذلك مرتبط بالتقدم الاقتصادي ، وقبل كل شيء بالتزايد العددي للطبقة الاجتماعية التي ترقى إلى الثقافة . ولكن النهضة المشهودة ، في بعض المجالات التقنية في البرازيل ، والارجنتين وغيرهما ، وحيوية النشر العلمي في هذين البلدين الكبيرين هما من علامات تمثل التقدم وتوحي بمستقبل خلاق .

مراجع الفصل الرابع

F. de AZEVEDO, *Brazilian Culture*, New York, 1950; J.BABINI, *La evolucion del pensamiento cientifico en la Argentina*, Buenos Aires, 1954; J. de GALINDEZ, *Iberoamerica, su evolicion politica, socia -economica, cultural e internacional*, New York, 1953; E. de GORTANI, *La ciencia en la historia de México*, Mexico, 1963; R. A. HUMPHREYS, *Evolution of Modern Latin America*, New York 1947; J. J. IZQUIERDO, *La fisiologia en México*, Mexico, 1947; ID., *Nuevas rutas para la especialización científica en México*, Mexico, 1947; J. F. RIPPY, *Historical evolution of Hispanic America*, 3e éd., New York 1946; W. S. STOKES, *Latin American politics*, New York, 1947. Revues : *The Americas, The Hispanic American Historical Review, Revista de Historia de America*, etc.

الفصل الخامس

التجديد العلمي في البلاد الإسلامية

ان دراسة العلم المعاصر في البلدان الاسلامية هي مهمة تعترضها صعوبات كبيرة وغياب الدراسة المتخصصة حول هذا الموضوع ليست هي العقبة الأقل .

لقد حاولنا في المجلد السابق ان نضع هيكلاً لاستمرارية حياة علمية باللغة العربية هي استمرار مصغر جداً ، وأحياناً تشبيه هيكلي للعلم العربي في القرون الوسطى .

ليس بعيداً عن البلدان الاسلامية ، انطلق الاوروبيون من الترجمات اللاتينية للمؤلفات العربية ، فاعطوا للعلم دفعة ضخمة . ان الفارق بين معالم العلم العربي المشرق ، في القرون الوسطى ، المستخدمة في البلدان الاسلامية ، وبين المستوى الذي وصل إليه العلم الاوروبي كان كبيراً لدرجة انه اصبح من الضروري ان يلجأ العلماء العرب أما إلى ترجمات المؤلفات الغربية ، وأما إلى دراسة هذه المؤلفات مباشرة من قبلهم .

وهنا أيضاً لم توضع دراسة تأليفية من اجل ترسيم هذا التطور في مجمل العلم في البلدان الاسلامية . ومن أجل محاولة توصيف المراحل ، فإننا سوف ننظر ، في بادىء الأمر ، في الإطار السياسي وندرس فيما بعد وضع العلم في البلدان التي تتكلم العربية ، مما يعني العودة عموماً إلى دراسة العلاقات العلمية بين العالم العربي والغرب .

ذلك ان الحركة العلمية ، ابتداء من القرن التاسع عشر ، اخذت تتجه من الغرب نحو الشرق ، في حين انها في القرون الوسطى كانت تسير باتجاه معاكس . وعلى كل ، حتى في حالة التقهقر ، استمر العلم العربي يثير اهتمام اوروبا ، انما من اجل غايات استثمارية ، اكثر مما هو من أجل البحث عن مكتسبات جديدة .

الاطار السياسي - بخلال القرون الاولى للاسلام ، كان خلفاء النبي محمد ، حماة وحراس الدين وكانوا قبل كل شيء ، قادة جيوش ، وائمة (ائمة في الصلاة) ، كما كانوا حكام الدولة .

واثناء غزو فارس من قبل المغول ، سنة 1258 ، تمّ تدمير المراكز العلمية وبصورة رئيسية

بغداد تدميراً كاملاً . واوطأ خان المغول الخليفـة العباسي شنابك خيله . واستقـر احد اعمـام هذا الاخير في القاهرة ، بفضل بيبرس الذي حكم مصر وسوريا والحجاز واليمن وبلاد الفرات .

وأدى استيلاء الاتراك على مصر سنة1517 إلى تغيير كل شيء . فقـد اعطى السلطان التـركي في اسطمبول لنفسه ، وبصورة تدريجية ، كل امتيازات الخليفة وانتزع أخيراً لقب الخلافة . الا ان احداً خارج الاراضي التركية لم يعترف لـه به ؛ ان السلطة الـدينية للسلطان على المسلمين الـذين يعيشون خارج تركيا لم تتقـرر الا بموجب المعـاهدة الروسية التـركية التي عقـدت سنة 1774 [ان هذا الكلام يحمل مسؤوليته التاريخية صاحب المقال . وهو غير دقيق وغير واقعي الا من وجهة نظر اوروبية . ولو قرأ المؤلف حول نظرية المسلميـن في انتقال الخلافة في القرون الـوسطى لادرك ان السلطة تؤول إلى كل قادر . . (الترجمة)] .

وعرف القرنان التاسع عشر والعشرون تفتت الامبراطورية العثمانية . وشره الدول الاوروبية ، اضافة إلى عصيان الرعايا المسيحيين التابعين للسلطان ، جعل الامبـراطوريـة تخسر تبـاعاً اليـونان والصـرب والاقاليم الـرومانيـة (رومانيـا) : انشاء دولـة بلغاريـا ، انفصال دوبـرودجـا ، وبـوسنـة والهرسنك (هرزيغوفين) ، والبانيا ومكدونية .

وحصـل محمد علي ، عـوضاً عن الاستقـلال ، على التحرر الفعلي من الـوصايـة العثمانية وعلى الوراثة في ولايته .

وغيرت الحقبة الاستعمارية ايضاً مرة اخرى سمة الامبراطوريـة الاسلاميـة ، فاصبحت مصـر تحت حكم مشترك فرنسي انكليـزي ، ثم محمية انكليـزية سنـة 1882 ؛ واصبحت الجزائـر محمية فرنسية سنة 1830، ثم مدت فرنسا حمايتها فشملت تونس سنة 1881 والمغـرب سنة 1912 ؛ واحتلت ايطاليا ليبيا أو طرابلس الغرب . وثارت الامارات العربية التابعة للامبراطورية التركية بخلال الحرب العالمية الأولى ، ولم تحصـل على الاستقلال الذي كانت ترغب فيه : فانتدبت فـرنسا على سـوريا ولبنان ؛ وكان على معظم الدول ان تنتظر الحرب العالمية الثانية لكي تنـال استقلالهـا ، وكان على اخرى ان تقوم بالحرب من اجل ا تحرر .

وبعد الغاء الخلافة سنة 1925 تحولت تركيا إلى جمهورية . وبعـدها تجـزّأ العالم الاسـلامي تدريجياً ؛ وظهرت فكرة القـومية العـربية بـانشار جـامعة الـدول العربية في آذار سنة 1945 ، وهي مؤسّسـة تتولى عـدا عن دورهـا السيـاسي (الحفـاظ على استقـلال وعلى سيـادة البـلاد العـربيـة) المساهمة على الصعيد الثقافي في اقامة « علم عربي » وذلك للمساعدة على اقامة لغة علمية عربية موحدة .

العلم العربي واوروبا ـ في القرون الوسطى كانت البلاد الاسلامية تتمتع بتفوق اكيد . فكل الاسماء الكبرى في العالم العربي كانت معروفة من طلاب اوروبـا الوسيـطية ، وتـرجمت مؤلفاتهم إلى اللاتينية ، ودرست ، وشرحت في الجامعات الأوروبية الرئيسية ، والمؤلفون الاغريق لم يعرفوا في اغلب الاحيان الا من خلال الترجمات التي تمت باللغة العربية .

ولكن هذا الوضع لم يدم طويلاً ، وبصورة تدريجية انقلب التيار لصالح العالم اليوناني اللاتيني . في المجال الطبي مثلاً تكاثرت في القرن الخامس عشر طبعات أبقراط وغالينوس بلغتهما الاصلية .

والعلم الاوروبي الذي أخذ كثيراً عن العلم العربي في القرون الوسطى ، لم يعد له اتصال ولمدة طويلة مع هذا العلم الاخير . وإذا كانت الحركات العلمية لم يكن لها في البلاد الاسلامية تلك الضخامة التي تستحق الاهتمام ، فان العلم الغربي عرف بذات الحقبة نمواً بلغ درجة عالية حتى ان البلاد الاسلامية لم تجد مفراً ، في القرن الثامن عشر ، لكي تخرج من تأخرها ، من الالتجاء إلى العلم الغربي الاوروبي لتنهل منه .

انما يجب ان نذكر انه قبل عشرين سنة من اختراع المطبعة كان ينشر في پادو طبعة اصلية من مؤلفات ارسطو مع ترجمة لاتينية لشرح ابن رشد . وانه في سنة 1486 نشرت في بريسيا ترجمة لاتينية لموسوعة الرازي المسماة الحاوي . وكذلك نشرت اول طبعة بالعربية لعناصر اقليدس وفقاً لشرح نصير الدين الطوسي في روما سنة 1594 .

وهناك فئة اخرى من المؤلفات العربية بقيت تجتذب اهتمام العلماء في اوروبا . وقد اختار التراجمة اللاتين في القرون الوسطى ، من بين المؤلفات المشهورة في عصرهم . وفيما كان هؤلاء التراجمة يترجمون كان علماء الاسلام مستمرين في اصدار كتب ذات أهمية كبيرة ، وفي اغلب الاحيان اكثر كمالاً من كتب سابقيهم . من ذلك مثلاً كتاب « البسائط » لابن البيطار ، والازياج (جداول) الفلكية لأولغ بك ، كي لا نذكر الا الكتب التي اشتغل عليها المستشرقون الاوروبيون .

النهضة المتأخرة للعلم في العالم العربي ـ ان الاتصالات بين البلاد العربية واوروبا ، المتطورة جداً بخلال القرون الوسطى ، أخذت تضعف فيما بعد ؛ وفي اواخر القرن الثامن عشر ، عندما نزل بونابرت في الاسكندرية ، كانت هذه الاتصالات في المجال العلمي ، شبه معدومة ، من هنا الفارق الكبير الذي وجد يومئذٍ بين الحضارتين الشرقية والغربية ؛ ومن هنا ايضاً دهشة الشرقيين عند اول اتصال لهم بالعلماء الذين كانوا يرافقون الجيش الفرنسي .

انطلاقاً من هذه الواقعة يُعتبر ان حملة بونابرت إلى مصر ـ اذا وضعنا جانبها العسكري على حدة ـ كان لها اثر خيِّر هو تعريف الشرق ، حيث كان العلم مجمداً في مظهره الوسيطي ، بالانجازات المتقدمة التي حققها العلماء الاوروبيون .

وكانت الصدمة عظيمة وكانت ردات الفعل مختلفة . فعدا عن اولئك الذين نسوا ما اكد عليه صانع الاسلام ـ وهو ان العلم له فرعان فرع الدين وفرع البدن « علم الأديان وعلم الأبدان » ـ والذين كانوا قابعين ضمن الدراسات الدينية الفقهية ، كان هناك العديد من الشرقيين الذين تمنوا بلوغ المستوى العلمي في أوروبا .

لا شك انه كانت هناك تقييمات متشائمة ، مثل رأي ذاك المؤلف الذي أكّد بان الفرق بين

العلم الاوروبي ومعارف الشرق لا يمكن ان يزول . هناك رجل قاس هذا الفارق في الميدان العسكري ، وكان مقتنعاً بالعكس : انه محمد علي الذي اعطته مساهمته في الحرب ضد جيوش بونابرت فكرة واضحة جداً عن هذا التخلف الضخم . حتى اذا اصبح نائب ملك على مصر ، كان همه الاول تحديث جيشه . وعندها بدأت النهضة المتأخرة للعلم في البلدان العربية .

هذا الوعي لدى بعض المسؤولين في البلدان العربية ، وبصورة خاصة محمد علي جعل من الضروري تبني التدابير التي من شأنها استدراك هذا العجز : فكان انشاء مدارس مع معلمين من اوروبا ، وكان إرسال الطلاب إلى بلدان اوروبا .

وكانت هناك مشكلة اولية يجب حلها هي مسألة اللغة ، لأنه في البداية كان الاساتذة الآتون من اوروبا يجهلون اللغة العربية ، وهي اللغة الوحيدة ، اضافة إلى اللغة التركية والفارسية ، التي كان يعرفها الطلاب .

وبانتظار وضع أدب وتكنولوجيا علميين من مستوى الادب والتكنولوجيا في اوروبا ، كان لا بد من تأمين تشكل كادرات تحتاج اليها البلدان العربية اشد الحاجة . من اجل هذا كان الاساتذة الاوروبيون يعطون دروسهم بلغاتهم ، ثم يترجم المترجمون هذه المحاضرات للتلاميذ ، وينقلون إلى الاساتذة اسئلة الطلاب . وكان لا بد من تدخل شخص ثالث هو المراجع الذي كان يمتلك عموماً اللغتين فيصحح عمل المترجم ؛ ثم يحرر فيما بعد مدخلاً واستنتاجاً ويعطي عنواناً للمؤلف المحقق على هذا الشكل ثم يرسله إلى المطبعة .

وهكذا لعب اساتذة المدارس العلمية ، يساعدهم المترجمون والمراجعون ، دوراً كبيراً في تحرير المؤلفات الناتجة في معظمها عن جمع المحاضرات التي كانت تعطى للتلاميذ .

وكانت الترجمة تتم في بادىء الامر من الفرنسية والايطالية . وانشئت مدرسة للطب حديثة من قبل الطبيب الفرنسي انطوان بارتيليمي المقب بـ « كلوت بك » . وهناك فرنسي آخر هو الدكتور بيرون تعلم العربية على يد احد المراجعين المشهورين في المدرسة ، وهو الشيخ محمد بن عمر التونسي ، واستطاع ان يشارك في التعليم وفي الترجمة وفي المراجعة .

وبعد ذلك بقليل انشئت الجامعة الاميركية في بيروت حيث تمت ترجمات عن الانكليزية .

ان كل الترجمات في تلك الحقبة قلما قدرت حق قدرها فيما بعد ، فقد كانت تنفر الآراء العلميين من اسلوب كتابتها .

فقد كانت عناوينها نثراً سجعاً ، مثل المؤلفات التي كتبت بخلال الحقبة التي سبقت هذه النهضة ؛ ولم تكن هذه العناوين تنطبق لا على موضوع الكتاب ولا على العنوان الاصلي الذي اختاره المؤلف لمحاضراته . ولكن من الظلم رفض مجمل هذه المؤلفات التي كانت تعكس على الصعيد العلمي التعليم الذي حاول اساتذة جاؤوا من اوروبا ادخاله ، اضافة إلى تعابير جديدة لا يمكن احتقارها من قبل علماء اللغة .

ان عالم اللغة يمتلك مصدراً آخر هو قاموس التونسي ، وهو موسوعة ذات استعمال سهل ، تحدد بشكل دقيق التعبير الطبي في ذلك العصر . وقد اخذ هذا القاموس عن قاموس طبي فرنسي قام الاساتذة الاكثر كفاءة في مدرسة الطب في القاهرة ، بترجمة تعابيره الطبية والمتعلقة بالعلوم الطبيعية إلى العربية واضافوا إليها تعاريف العبارات الموجودة في قانون ابن سينا ، وتعاريف داود الانطاكي (القرن السادس عشر) .

يقول المؤلف :

« لم اكتف بالتعابير العربية ، بل ستجدون في قاموسي تعابير لاتينية وفرنسية وفارسية مستعملة باللغة العربية . والتعاريف مختصرة بالنسبة إلى الكلمات ذات المعاني الواضحة ؛ اما الكلمات ذات المعنى المشكول فالشروح اطول » .

هذه الحركة الترجمية استمرت حتى ايامنا . ودراسة اللغات الاجنبية جعلت تدخل المراجع غير ذي جدوى ، فالتعليم العلمي اصبح في معظم الاحيان يتم بلغة اجنبية[1] .

والجدول التالي (صورة 33) يدل على اهمية الترجمات التي انجزت في مصر في مطلع القرن التاسع عشر ايام حكم محمد علي :

المواد المترجمة	ايطالي - عربي	فرنسي - عربي	فرنسي - تركي	عربي - تركي	تركي - عربي	فارسي - عربي	المجموع
قواميس	1						1
أدب				1		1	2
تربية		1					1
منطق		1					1
تاريخ الفلسفة		1					1
التاريخ		8	4	2			14
الجغرافيا		3					3
وصف الرحلات		2		2			4
الجيولوجيا		1					1
علم الخرائط		3					3
علم الاجتماع		1					1

(1) تجدر الملاحظة إلى أنّ بعض الدول العربية اتّجهت في الآونة الأخيرة نحو التعريب حتّى في مجال التعليم العلمي .

التنظيم السياسي والاداري	1				1		2
الطب البشري	1	31		2			34
الصيدلة		2					2
العلوم الطبيعية		1					1
الكيمياء		3					3
الزراعة		3					3
الهندسة		5	2	1	2		10
الهندسة الوصفية		4					4
الجبر		1					1
الحساب		4		1			5
علم المثلثات		2					2
الميكانيك		3	1				4
علم المائيات		2					2
العلوم العسكرية والبحرية		8	53		3		64
المجموع	3	111	61	9	6	1	191

صورة 33 ـ احصاءات عن الترجمات المحققة في مصر خلال القرن التاسع عشر (نقلاً عن الشيال).

النظرة المستقبلية ـ بوجه عام يمكن أن نذكر كاستنتاج ، ان العلم العربي ، ابتداءً من القرن الثامن ، برز في بادىء الأمر من خلال وجود حياة علمية مزدهرة في القرون الوسطى ، ومن خلال تأثير لا جدال فيه على العلم الأوروبي .

ورغم انكار المنكرين ، ورغم الانتقادات المرة واحياناً غير المبررة ، كانت الكتب العربية في القرون الوسطى ، بفضل ترجماتها اللاتينية وشروحاتها ، الكتب الرئيسية التي يتداولها طلاّب الجامعات الاوروبية .

فضلاً عن ذلك ، نذكر استمرارية حياة علمية حتى في الحقبة التي تسمى حقبة الانحطاط . واذا لم يكن بالامكان الكلام عن جسم علمي متكامل ، فلا يمكن انكار الجهد الذي قامت به بعض الشخصيات البارزة التي تظهر اعمالها بارزة بين مجموع المجاميع والخلاصات ، وتبقى جديرة بسابقيها في القرن العاشر والحادي عشر والثاني عشر والثالث عشر .

وأخيراً ، ابتداءً من مطلع القرن التاسع عشر ، يمكن الكلام عن تجدد في العلم العربي . واذا كان هذا العلم قد بقي طويلاً حتى يهتدي إلى طريقه ، فذلك لانه توجب عليه ان يستدرك تأخيراً تفاقم ، كما كان عليه ان يتغلب على مصاعب لغوية . ان الاختيار بين اعادة تأهيل اللغة العربية أو رفع مستوى العلم ، كان المشكلة الكبرى التي يجب يحلها . وبحل هذه المشكلة ترتبط المهلة اللازمة من اجل استدراك الوقت المهدور .

وظهر حل فعال . ففي احد المؤتمرات العلمية العربية الحديثة الذي ضم اساتذة من جامعات البلاد العربية (وقد تمثلت فيه الجامعة الاميركية والجامعة الفرنسية في بيروت) تقرر ان تكون لغة التعليم العالي هي اللغة الوطنية اي اللغة العربية .

وحثّت الجمعية اعضاء التعليم العالي على ترجمة المؤلفات المنشورة في البلدان ذات المستوى العالي إلى اللغة العربية ، واستنتجت ما يلي « في اليوم الذي تصبح فيه المكتبة العربية العلمية مهمة بشكل كافٍ ، يصبح عندها استعمال اللغة القومية اي اللغة العربية ، ضرورة ملحة » . هذه الامنية اقرت بالاجماع . وهي تدل ، اذا كان من حاجة إلى دليل ، على ان علماء البلدان العربية يعملون على اغناء مكتبتهم العلمية الوطنية ؛ وهم يرتضون من اجل ذلك ، وربما لزمن طويل نسبياً ، استعمال اللغات الاجنبية ، التي ما تزال في بعض البلدان العربية لغة التعليم العالي ، في معظم الكليات ومعاهد العلوم العربية .

وقد واجه هذا المؤتمر بالذات المقارنة بين كلّ الأنظمة التعليمية في البلدان ذات المستوى المرتفع واختار من بينها ، وبالشكل الاكثر موضوعية ، المناهج التي بدت له وكأنها الافضل .

عندما نعالج العلم المعاصر في البلدان العربية ، لا نسمح لانفسنا بالادلاء باراء نهائية حول المستقبل ، انما نذكر الجهد الذي تبذله هذه البلدان من اجل تطوير علمها الوطني ، وهو جهد متجرد من كل تحيز . ان العلماء من ذوي الثقافة الغربية الانكليزية أو الاميركية أو الفرنسية ، يجاورون علماء درسوا في بلدان الشرق .

وهذا الامر ربما يؤدي يوماً ما إلى حقبة جديدة من التألّق في العلم العربي . وعندها يستطيع مؤرخو العلوم الكلام عن علم عربي في القرون الوسطى وعن علم عربي في القرن العشرين .

مراجع الفصل الخامس

ARTIN (Yacoub Pacha), *L'instruction publique en Égypte,* Paris, 1840; ID., Lettres inédites du Dr Perron à M. J. Mohl (B.I.F., *5e série,* t. III, 1904, pp. 137 -152); ID., *Lettres du Dr Perron, du Caire et d'Alexandrie, à M. J. Mohl à Paris (1838 -1854),* Le Caire, 1911; Ash SHAYAL (Jamal ad -Dîn), *At -tarjima wa'l haraka al taqafiya fi'ahid Muhammad'Ali,* Le Caire, 1951; BACHATLY (Charles), Un manuscrit autographe de don Raphaël (B.I.E., t. III, 1931, pp. 27 -35); ID., Un membre oriental de l'Institut d'Égypte: don Raphaël (1759 -1831) (B.I.E., t. XVII, 1934 -1935, pp. 237 -260); BAINVILLE, L'expédition française d'Égypte *(Précis de l'histoire d'Égypte,* t. III, Le Caire, 1933); BEN YAHIA (Boubaker), *Ash Shaikh at* Tûnusi *et son dictionnaire;* BIANCHI, Catalogue général des livres arabes, persans et turcs imprimés à Boulaq en Égypte depuis l'institution de l'imprimerie dans ce pays (J.A., 4e série, t. 2, 1843, pp. 24 -61); BROCKELMANN (C.), *Geschichte der arabischen litteratur,* 5 vol., Berlin et Leiden, 1898 -1942; CLOT BEY, La création d'une école médicale pour les femmes (Cahiers *historiques, I (1948), pp. 245 -49); Encylopédie de l'Islam* (divers articles); PERRON (J. H.), La balance de la loi musulmane, *L'islamisme;* TAJIR (Jaque), *Harakat at -tarjima bi misr khilal al -qarn at -tasa'ashar. Dar al -ma'arif Misr;* ZAIDAN (Gorgi), *Târikh adab al -lougha al.'arabiya,* t. IV.

- جمال الدين الشيّال ، « الترجمة والحركة الثقافية في عهد محمد علي » ، القاهرة ، 1951 .
- أبو بكر بن يحيى ، « الشيخ التونسي وقاموسه » .
- شارل باشاتلي Ch. Bachatly ، مخطوطة من دون رافاييل .
- بيانكي Bianchi ، فهرس عام بالكتب العربية ، الفارسية والتركية المنشورة في بولاق في مصر منذ بدء الطباعة في هذا البلد .
- جاك تاجر J. Tajir ، « حركة الترجمة في مصر خلال القرن التاسع عشر » ، دار المعارف ، مصر .
- جرجي زيدان ، « تاريخ آداب اللغة العربية » ، المجلّد الرابع .

الفصل السادس

العلم في الهند من
القرن التاسع عشر حتى ايامنا

في مطلع القرن التاسع عشر ، استمرت الهند تبذل جهدها للمحافظة على تراثها العلمي القديم في مواجهة العلوم المستوردة من الخارج . ولكنها عملت على اكتساب العلم الحديث الكوني حتى تتعلم وتساهم في تقدمه .

I ـ العلم التقليدي

كما سبق وأشرنا في المجلدات السابقة ، استبدلت النزعة القديمة إلى البحث العلمي في الهند عموماً ، بعقلية الدفاع عن الثروة المعرفية ، باعتبار هذه الثروة كملك خاص اساسي ، ابتداء من اللحظة التي اخذت فيها العلوم الغربية تدخل لا بفعل التبادل الحر بل بحكم انها من مجلوبات المستعمرين . لقد وقف العلم التقليدي تجاه العلم الذي ادخلته انكلترا ، في أغلب الاحيان موقف التحفظ ، وحتى المتجاهل بشكل منهجي ، كما فعل تجاه العلم العربي والفارسي . وبعض العلماء الهنود رفضوه بشكل كامل وآخرون ، اكثر تساهلاً ، واحسن اطلاعاً ، درسوا ، في ضوء المعارف الجديدة ، تاريخ هذا العلم التقليدي ، وبيّنوا انه هيّأ الفكر الهندي على تصور قوانين الطبيعة وعلى تفسيرها بعقلانية ، مما اهّله للبحث العلمي الحديث ، شرط التخلي عن التزمت ـ الذي تعلق به بشكل متأخر ـ وعن عصمية المؤلّفين القدامى .

من جهة اخرى ، احتفظ العلم القديم بدور عملي اكيد . واحتفظ بتأثيره الضخم على الشعوب التي لم يتم تعليمها الا عن طريقه . ونتج عن ذلك وخاصة في مجال الطب ، أن ينصب غالباً افكاره وطرقه في مواجهة افكار وطرق الوقت الحاضر . وهو ما يزال قائماً ايضاً بشكل علم تنجيمي يستخدم بذاته علم الفلك القديم ، ومعادلاته الرياضية .

الرياضيات وعلم الفلك ـ لم تعد الرياضيات وعلم الفلك القديمين والوسيطيين ، في الهند الحالية ، يدرسان لذاتيهما . انهما يدرسان من مؤرخين ينشرون أو يعيدون نشر نصوصهما ، ويفسرونها بالسنسكريتية ، وغالباً ما يترجمونها ويفسّرونها باللغات الحديثة أو بالانكليزية .

واذا كان مؤرخو العلم الهندي يشتكون احياناً ، في المقارنات التي يجرونها مع علم البلاد

الأخرى في العالم ، من توثيق غير كافٍ ، فان هذا الواقع ليس مقصوراً عليهم ، فالمؤرخون الغربيون يفتقرون غالباً إلى كتب وإلى معلومات حول العلم الهندي . وجدير بالذكر ، في بعض الاوساط ، ان الاعمال التاريخية ، تميل إلى تبرير التراث ، وحتى إلى تمجيد قيمته بالنسبة إلى العلم الحديث ، في محاولة جاهدة لاعطاء الهند اسبقية في العديد من الاكتشافات ، لا في حالات مبررة ، بل وايضاً ، وفي كثير من الاحيان ، بتأويلات مفتعلة لمعطيات تافهه وقد عرفت اوروبا ايضاً مثل هذا التزمت الوطني .

واخيراً ما يزال التنجيم يحتفظ بانتشار كبير ، وما زال يلجأ إلى الحسابات التقليدية السائدة في علم الفلك القديم . في حين ان علم التنجيم الحديث يستخدم بذاته معطيات وحسابات علم الفلك المعاصر ، ولكنه يرفض احياناً الطرق القديمة أو يعتمد معطيات المراصد الحديثة ، ثم يؤوّلها فيما بعد وفقاً للاساليب التقليدية . ان علم التنجيم الهندي لا يستمر إذاً ، في الهند ، كما في اوروبا فضلاً عن ذلك ، الا باعتماد « نوع من الاستيفاء» . وقد فتح المجال امام تحرير وامام نشر العديد من الكتب بالسنسكريتية وبمختلف اللغات الحالية في الهند مثل المؤلف الحديث « جيوتي ـ شازار ـ ڤاقي ـ شايا ـ مرودام » للمؤلف م . سوندارا ـ راجا ـ كاريار ، باللغة التامولية (1956) .

والدراسات الحيادية في تاريخ الرّياضيات وعلم الفلك الجارية في الهند ، في ضوء العلم الحديث ، مهمة ، مثل ذلك « تاريخ الرياضيات الهندية » للمؤلف ب . داتّا وآ . ن . سنغ (مجلدان ، لاهور ، 1935-1938) و « تاريخ علم الفلك » باللغة المارتية بقلم س . ب . ديكشيت . وهي ثمينة من حيث التسلسل التاريخي ، خاصة فيما يتعلق بتأريخ المدوّنات والمستندات من كل نوع ، تلك هي بصورة خاصة حالة الكتاب الضخم « التقويمات الهندية » للمؤلف سواميكانو پيلاي . وهناك أعمال أخرى ، رغم أنها تمتاز بإيمان وطني محترم ، جذبت للخير الانتباه نحو مسائل دقيقة حول تأويل معطيات فلكية قديمة ، هي للأسف غير كافية بذاتها . ذلك هو حال قسم من دراسات ب . ج . تيلاك Tilak حول علم الفلك الڤيدي ، الجارية على موازاة أعمال مماثلة قام بها هـ . جاكوبي في ألمانيا .

ان الفيزياء ، البدائية جداً في العلم التقليدي ، قد دخلت عملياً بفضل التعليم الاوروبي . لقد عُلِّمت بالسنسكريتية في « بينارس كوليج » ، ابتداء من سنة 1848-1849 ، وعُرِضت فيها وفقاً لاشكال فلسفة « نيايا ڤيسيشيكا » حيث وضع المنطق ، وحيث توجد بداية تحليل لمحتوى الطبيعة بشكل هيكلاً مشوشاً للفيزياء .

الكيمياء ـ كان تاريخ وتأويل الكيمياء القديمة موضوع بحوث مهمة من قبل الكيميائي ب . ش . راي Ray (1861-1944) . فضلاً عن ذلك ، ان الادوية الكيميائية في الأجزائية التقليدية ما تزال مستعملة . وبحكم كونها محضّرة على يد شفاة منفردين ، معرضين لاخطاء تحديد هوية المستحضرات المفروضة المدونة في النصوص ، كون المواد الطبيعية المستعملة هي في اغلب الاحيان غير نقية ، فانها قد تكون خطرة ، خاصة عندما تحتوي الزئبق . وهي ، بالعكس تكون بدون مفعول اذا استعملت بحذر شديد . وبالمقابل ، إذا حضّرت في منشآت خصوصية ـ احياناً

من النمط الصناعي ، مثل « رازاشا لا اوشا داسرام » ، غونـدال في غوجـرات ـ فإنها قـد تقـدم ضمانات من حيث نسب مكوناتها ومن حيث الثبوتية في المفعول ، وهي تدخل في تـركيب العديـد من المستحضرات المنشطة ، والشعرية والتزينية الخ . تباع مباشرة إلى الجمهور ، بمساعدة دعايـة غزيرة ، في دور متخصصة وفي الاسواق .

الطب الايورفيدي والطب الحديث ـ ان ادب « الأيورفيدا » يعلَّم كما يعلَّم ادب الـرياضيـات وعلم الفلك ، واكثر من ذلك ايضاً ، من اجل فائدته العملية . وهو يدرس من قبل مؤلفين منفـردين أو من قبل جمعيات أو مدارس خاصة . والمنشور الأهم من الناحية التـاريخية هـو « كاركـاسا مهيتـا » ، نشرته جمعية « شري غولا بكونقربا آيورفيديك » مع ترجمة إلى الهندية ، والغوجراتيـة والانكليزيـة ومع مجلدين من الدراسات والمراجع ، باشراف دكتور پ . م . ميهتا .

زيادة على كتب الوصفات الشعبية ، تمَّ ايضاً نشر مختصرات لاستعمال طلاب العـديد من الكليـات الطبيـة الايورفيـدية المـوجودة إلى جـانب كليات طبيـة حديثـة (تسعون لقـاء ستين كليـة حديثة) . وبالنسبة الى مواد ، كالتشريح ، فقد عولجت من قبـل التعليـم القديم بشكـل غير كـاف اطلاقاً ، وتدخل هذه المؤلفات المعطيات العصرية ، في حين تحتفظ بالشروحات التقليدية في قسم من علم الامراض ، وفي الاستطباب المقابل وكذلك في علم الصحة الغذائية والعامة .

في الكليات التقليدية ، توضع التشخيصات في اغلب الاحيان ، سنداً للسمات العيادية التي تضعها نصوص سوشروتا ، كاركا ، ڤاغبهاتا ومـادهافـا . ان المؤشرات الاستـطبابيـة المنبثقة عنهـا تؤخـذ من نفس هذه المؤلفـات ، وكذلـك من العديـد من النصوص الاخـرى القديمـة المخصصـة للوصفات الطبية . ان التحليلات البسيطة ، تحليلات البول خاصة ، تؤخذ سنداً للطب الحديث . والجراحة هي ايضاً ذات سمة عصرية .

إلى جـانب الطب الآيـورڤيدي يمـارس ايضاً الـطب التقليـدي المسمى « سيـدهـا » واغلب وصفاته مأخوذة عن الـطب العربي او من الآيـورڤيدا . والـطب العربي نفسـه ، بقي محترمـاً تحت اوصاف « الطبيّـا » (من العربيـة « الطب ») و « اليوناني » (« اغـريقي ») عند المسلمين ، وهـو يعلم في بعض الاحيان في نفس الكليات التي تـدرس الطب الايـورڤيدي ، ولـه ايضاً عـدة كليات متخصصة .

ويعمل الممارسون الايورڤيديون في كل مكان : في المجتمعات المدينية إلى جانب الاطبـاء الذين يطبقون الطب على الطريقة الانكليزية ، وفي القرى حيث يمارسون المهنة وحدهم في اغلب الاحيـان . هذا الـوضع يجعـل ـ حتى خارج أنصـار الآيـورڤيـدا ، المقتنعين بتفـوقهـا على الـطب الحديث ـ العديد من الشخصيات الهندية تؤمن بـان معونـة الاطباء الايـورڤيديين مـا تزال ضـرورية لخدمة الصحة العامة ، على الاقل بانتظار التجهيزات الطبية الحديثة في كل البلد . من هنـا الفكرة القائلة بان الطب الايورڤيدي يجب ان ينظم بالكامل وان دراسات تتيح التعرف عليـه جيداً وتـطبيقه بجـدوى وبـدون خـطر ، يجب ان تنـظم بصـورة رسميـة . فضـلاً عن ذلـك من المؤكـد ان تعليم المبـادىء من الطب التقليـدي ، التي تمَّ التثبت منها مسبقاً ، يمكن ان يقدّم خـدمـات كبـرى ، وان

دراسة معمقة لمفاعيل بعض الانظمة الغذائية (الحمية) ولبعض المعالجات التقليدية قد تغني الطب الحديث : ان العديد من العقاقير الهندية سبق واعتمدت في مجال الاستطباب العام . فضلاً عن ذلك ، لما كانت الادوية الأيورڤيدية ارخص ثمناً من المستحضرات الصيدلانية الجديدة ، فهي وحدها في متناول غالبية السكان الفقراء ، الذين لا يستطيعون بدونها تلقي العناية الطبية .

وبصورة لاحقة ، يمكن القول ايضاً ان الشروط المفروضة بموجب الطب التقليدي ، من اجل جني النباتات ومن اجل تحضير العقاقير العشبية ، يمكن ان تتضمّن نوعاً من الثبوتية في نسبة العناصر الناشطة ، وان تتيح تداولاً نوعاً ما منتظماً في المعايير .

على هذه البراهين العملية كلها ، يرد انصار الاستبدال السريع ـ ما امكن ـ للطب التقليدي المحلي ، بالطب الشامل ، بأن الاعتراف وبان التنظيم الرسميين للدراسات الأيورڤيدية سوف يعطي ـ وقد اعطى سابقاً عن حدوثها ـ مصداقية لا تستحقها « الأيورفيدا » ، مما يؤخر التحديث العام الضروري . فضلاً عن ذلك ان الانشاء التدريجي للعديد من المستشفيات أو المآوي المجانية ، يجعل بصورة تدريجية الاطباء العصريين في متناول الطبقات الفقيرة ، بصورة افضل من الطب الايورفيدي الرخيص الثمن ولكن غير المجاني .

ان السلطات العامة مدعوة من جهتين إلى هذه المسألة ، مسألة الصراع بين الطب التقليدي والطب الحديث ، الموجودة في العديد من بلدان آسيا ، حيث ما يزال الأول يحتفظ برصيد مهم ، وحيث الخيار ما يزال معدوماً بين المجالين : الطب التقليدي والطب الحديث .

II ـ العلم الحديث

بخلال القرن التاسع عشر ، ساعدت السياسات التربوية « لشركة الهند الشرقية » ، والتي تابعها التاج البريطاني ، التعليم الانكليزي الابتدائي ولكنها لم تساعد البحث العلمي . لقد دُشِّن هذا الأخير ، بصورة مستقلة ، في كلكوتا ، بفضل « الجمعية الأسيوية في البنغال » ، وهي جمعية ضمت بآنٍ واحد أعضاء هنوداً وإنكليزيين ، وكان جهدها يرتكز بصورة رئيسية على الدراسات الهندية ، ويتناول أيضاً الرياضيات ، والفيزياء ، وبصورة خاصة العلوم الطبيعية ، ولكن أدوات البحث كانت قليلة التطور في المستعمرة ، الا في المرافق الكبرى التي أنشئت لاحصاء موارد البلد ، مثل « ادارة المسح الجغرافي » ، و« المسح النباتي » ، « والمسح الحيواني » ، و« مسح الهند » (مرفق جغرافي) و « المجلس الهندي للبحث الزراعي » المؤسس سنة 1929 ، الخ . وهكذا ، لم يكن امام الهنود من ذوي المواهب العلمية ، الا الانصراف اما الى الدراسات التاريخية حول العلم القديم ، سنداً للنتائج المأخوذة عن العلم الحديث ، واما إلى البحوث الرياضية التي لا تتطلب أي تجهيز .

في المجال الرياضي ، قدم البعض مساهمة استثنائية ومنهم : س . رامانوجان (1887-1920) الذي مات باكراً في لندن . الا ان تجارب متنوعة تستخدم وسائل بسيطة نوعاً ما ، امكن تنفيذها

بنجاح من قبل علماء امثال . ك . ف . رامان في الفيزياء ، وجاغاديش شاندرا بوز في بيولوجيا النبات . ان تجارب هذا الاخير بقيت كلاسيكية ، رغم ان التفسير الذي اعطاه لها ، فيما يتعلق بوجود « حساسية في النباتات » ، قد أعيد النظر به . وتمّ تأسيس بعض مؤسسات البحوث منذ مطلع القرن العشرين ، مثل « المعهد الهندي للعلوم » في بانغالور سنة 1909 ، و « المجلس الهندي للبحث الطبي » سنة 1912 . وتأسست مؤسسات اخرى فيما بعد خاصة في « معهد طاطا للبحث الاساسي » في بومباي ، كما تأسس « معهد پاستور » ، في الجنوب في كونور تقليداً لمعهد باستور في باريس ، انما دونما الانتساب إلى هذا الاخير . عدا عن ك . ف . رامان ، اشتهر فيزيائيون آخرون ، قبل نهاية الحقبة البريطانية ، مثل س . ن . بوز الذي تعاون مع انشتين على اثر اكتشافاته ، الشخصية ، واكتشافات العديدين الذي يديرون اليوم البحوث الهندية في الفيزياء التجريبية أو الرياضية : هـ . ج . بهابها ، م . س . كريشنان ، الخ .

ومنذ وصول الهند إلى الاستقلال سنة 1947 ، خصصت جهداً كبيرا في التجهيز من اجل البحث العلمي ، الذي اعتبر مطلباً قومياً . وانشئت وزارة خاصة للبحث العلمي وللعلاقات الثقافية . ويشرف مجلس للبحث العلمي والصناعي على العمل في خمسة وعشرين مختبراً أو معهداً وطنياً للبحث الاساسي أو التطبيقي ، ومعظمها انشىء حديثاً . ان المجموع العام لنفقات هذا « المجلس » بلغ في سنة 1960-1961 ، 69 مليون روبية هندية .

واشهر المؤسسات الوطنية هي المختبر الوطني للكيمياء في پونا ، المختبر الوطني للفيزياء في نيودلهي ، المختبر الوطني للتعدين في جمشيدپور ، المعهد المركزي للبحوث الكهربائية والكيميائية في كارايكودي ، المعهد المركزي للبحث في الادوية في لاكنو .

فضلاً عن ذلك ، طوّرت المرافق الكبرى الرسمية التي انشئت تحت ظل النظام البريطاني بحوثها . وانشئت وزارة للطاقة الذرية وألحق بها « منشأة الطاقة الذرية » في ترومبي (قرب بومباي) ، و « القسم الذري المعدني » و « التراڤانكور مينرال ليمتد » و « انديا رايرايرث ليمتد » . واسند البحث الاساسي في مجال الذرة والرياضيات إلى « معهد طاطا للبحث الاساسي » . وهناك منشآت اخرى ، تدعمها مبادرات خاصة وتمولها الحكومة مثل « بوز انستيتيوت » في كلكوتا ، وهذا المعهد مخصص للبيولوجيا النباتية ، و « بيربال ساهاني انستيتيوت » لعلم النبات الاحفوري في لاكنو ، ثم هناك « مختبرات البحث الفيزيائي » في احمد آباد ، وهو مركز بحوث في فيزياء الكرة الارضية . اما المؤسسات الجديدة للبحوث التقنية فهي ايضاً اكثر بكثير .

ويتلقى عدد من المراكز العلمية ، مساعدة اجنبية في المعدات وفي الاشخاص ، وعلاقاتها مع المراكز العالمية الرئيسية واسعة جداً . يدعو « معهد طاطا للبحث الاساسي » كل سنة رياضيين وفيزيائيين من العالم اجمع للمشاركة في اعمال مشتركة . ويتعاون « المجلس الهندي للبحوث الزراعية » مع المعهد الفرنسي في پونديشيري Pondichéry الذي يتولى وضع خارطة للبساط النباتي في الهند ، ويشرف على مختبر للپالينولوجيا (علم الطلع) .

وهذا المعهد الاخير اسسته فرنسا بالاتفاق مع الهند سنة 1955 ، بعد تحويل ادارة المنشآت الفرنسية القديمة ، من اجل اقامة تعاون دائم بين هذين البلدين في مختلف مجالات العلوم الطبيعية والعلوم الانسانية .

مراجع الفصل السادس

[J. R. BALLANTYNE], *A Synopsis of science from the stand-point of the Nyaya philosophy*, sanskrit and english, vol. I, Mirzapore, 1852; B. DATTA et A. N. SINGH, *History of Hindu mathematics*, 2 vol., Lahore, 1935-38; L. V. GURJAR, *Ancient Indian Mathematics and Vedha*, Poona, 1947; Swamikannu PILLAI, *An Indian Ephemeris*, 7 vol., Madras, 1922; B. G. TILAK, *The Orion, or Researches into the Antiquity of the Vedas*, Bombay, 1893; M. SUNDARARÂJÂCÂRYAR, *Jyotishasarvavishayamrudam* («Ambroisie de toutes les matières de la science des astres»), Srîrangam, 1956; P. Ch. RÂY, *History of Hindu Chemistry*, 2 vol., Calcutta, 1902-1909; P. RÂY, *History of chemistry in ancient and medieval India, incorporating the History of Hindu chemistry*(par P. Ch. RÂY), Calcutta, 1956; *The Caraka samhitâ* ... edited and published ... by Shree Gulabkunverba Ayurvedic Society, 6 vol., Jamnagar, 1949; Gananath SEN, *Pratyak shasariram, a text-book of human anatomy in sanskrit*, 3e éd , Calcutta, 1924; *India 1961. A Reference Annual*, compiled by The Research and Reference Division. Ministry of Information and Broadcasting Government of India, Delhi, 1961.

الفصل السابع

انتشار العلم في ڤيتنام
من الاحتلال إلى زوال الاستعمار

في اواخر القرن التاسع عشر غُزيت بلدان جنوب شرق آسيا بصورة تدريجية بالعلم الاوروبي . ومثل ڤيتنام معبر بشكل خاص ، ويمكّننا من ابراز السمات الاساسية لهذا الولوج . وايضاً ، وبدلاً من وضع جدول بالانجازات العلمية التي تحققت بخلال الحقبة الاستعمارية ، فضلنا أن نركّز على الظروف التقنية والنفسانية التي بدونها لم تكن ڤيتنام لتعرف لا العلم الغربي ولا علماءه الأولين .

الصراع بين المعرفة الڤيتنامية والعلم الغربي ـ يمكن تعيين بداية هذا الولوج سنة 1862 وهي سنة ضرب توران بالقنابل ونقطة الأعمال العدائية التي أدت إلى معاهدة سنة 1862 التي جعلت من مقاطعات : بيان ـ هوا ، جيا ـ دين ، ودين تيونغ (كوشنشين) مقاطعات فرنسية .

في تلك الحقبة كانت الثقافة الڤيتنامية متمحورة حول اعداد مسابقات تسمح ، كما هو الحال بالصين ، بالوصول إلى مهنة المندرية أو المرتبة العليا . وبرنامج هذه المسابقات كان قديماً وضيقاً لا يترك أيّ مجال للعلم وللفلسفة الطبيعية ؛ كان مقصوراً على البلاغة الشكلية المسرفة وكان يتركز على الذاكرة .

ان التأثير المثلث للكونفوشية (احترام التراث والاخلاق) ، والطاوية (امتداح عدم التصرّف ، ڤوڤي) والبوذية (بطلان اشياء هذا العالم) ، يضاف إلى التشريط الكتبي للافكار من اجل تقليص مكانة العلم والتقنية في الثقافة الوطنية .

ولهذا لم تنكسر الجيوش الڤيتنامية امام الجيوش الفرنسية (قليلة العدد) لنقص في الشجاعة ، بل بسبب الفارق الضخم الموجود بين قوتها وقوة خصومها . وعلى الصعيد الاخلاقي ، لم يكن الامر كذلك ابداً ، وفي النقاشات الفلسفية ، كان تفوق المبشرين الكاثوليك لا يبدو حاسماً .

فقد كان الڤيتناميون يشعرون اذاً بالحاجة إلى اصلاح عميق يتناول الاقسام المهترئة والثغرات في ثقافتهم . وبالمقابل حرصوا على الاحتفاظ بكل الأقسام الصالحة (أدب ، فلسفة ، دين)

وتفادي التصفية الكاملة لقيمهم ، مهما كان الثمن ، خشية فقدان الأمة لشخصيتها التاريخية . هذه الرغبة في التوازن بين الاحتفاظ بالتراث الاخلاقي ، واكتساب التقدم المادي ، ما تزال تلهم المثقفين الفيتناميين المعاصرين .

بدايات الحركة الاصلاحية الفيتنامية ـ قبل اجتياح فيتنام بكثير من قبل الغرب ، جهد الفيتناميون في زيادة قوتهم التقنية والعلمية بالعديد من القروض من الصين . وقد لعب السفراء والمسافرون دوراً كبيراً في التطور التقدمي للحرفية الوطنية .

الا ان بعض المفكرين نظروا إلى ابعد ومنهم هو كوي لي في القرن الخامس عشر ، ونغوين ترونغ تو في القرن التاسع عشر . وعلى أثر الهزائم العسكرية التي منيت بها ملكية الامبراطور تودوك (1847-1883) ، نمت حركة إصلاحية على موازاة حركة المقاومة المسلحة . وطالبت تعليم الناشئة اللغات والعلوم الاجنبية ، وانشاء منح للسفر إلى الخارج . وبقي هذا البرنامج معتمداً من كل الحركات الوطنية السرية ، مثل الاتحاد من اجل بعث فيتنام ، حوالى سنة 1904 ، بقيادة فان بوا شو والذي أصبح مدرسة رسمية لعاصمة الشرق ، ابتداءً من سنة 1907 .

وحاول الامبراطور تو دوك سنة 1868 ان ينشىء مركز تعليم علمي وتقني بقيادة اساتذة أجانب وكتب مستوحاة من الكتب الغربية . ولكن ما كان ممكناً في اليابان ، منذ 1853 ، لم يكن كذلك في فيتنام . فالملكة الأم واعيان البلاط أخذوا يعادون كل تجديد . ومن جهة اخرى خلقت متابعة الحرب ضد فرنسا من سنة 1858 إلى 1883 وضعاً قلّما يساعد على اصلاح جذري لنظام التعليم وفقاً للنموذج الاوروبي .

وبدلاً من ان يظهر هذا الاصلاح بشكل تعابير تقنية وثقافية ، لم يستطع إلاّ ان يأخذ مكانه في الصعيد السياسي والعاطفي .

فقد كان هناك فرق رئيسي بين المفاهيم الأوروبية في التعليم المستقل عن كل فكرة اخلاقية أو سياسية ، والهدف الموضوع للمدارس الفيتنامية . لقد كان الامر يقصد به لا التثقيف بل التكوين « ثم ربط الافكار إلى الابد » (وهذا التعبير هو للامبراطور كانغ هي) للتمسك بالعادات والموروثات وبقوانين الامبراطورية . وكانت التربية ، اكثر من القمع بكثير ، مفتاح العقد في النظام السياسي الصيني الفيتنامي ، وكل تغير في هذه المؤسسة الاساسية كانت له عواقب خطيرة جداً .

الاستعمار . اصلاح التعليم ونتائجه ـ لم تستطع المناهج التربوية والتعليمية ان تتغير بصورة جذرية إلا مع النظام الاستعماري الذي ألغى في سنة 1915 ، في الشمال ، وفي سنة 1919 في الوسط ، الامتحانات الادبية وشكلياتها المعتادة . في التعليم الابتدائي ، اصبحت الفرنسية والفيتنامية إلى جانب المعلومات الكلاسيكية الصينية ، ثم استبعدتاها سريعاً . ان الحروف الصينية الشعبية القديمة استبدلت بتدوين لاتيني ، مما حدّ من الأمية وخفّضها إلى نسب ضعيفة .

واتاح انتشار اللغة الفرنسية تسرّب اللغات الغربية الاخرى بصورة تدريجية ؛ ومن هنا تسرب فكر البحث العلمي والثقافة الشخصية .

ووضـع التعليم الثانـوي موضـع التنفيذ في الحـال . وانشئت جامعـة من النمط الفرنسـي في هانوي سنة 1907 وكانت في بادىء الامر بدائية ، ثم عزّزت بشكل ضخم سنـة 1917 ، وامتدت إلى سايغون سنـة 1946 . واستكملت بانشـاء العديـد من المنح الـدراسية في الخـارج . ولعبت « عودة فرنسا » دوراً مهماً في ڤيتنام سواء على الصعيد السياسي ام على الصعيد الثقافي . واخيراً اجتـذبت الصحف والمجلات والكتب والأعمال الفنية الشبان نحو الثقافة الغربية وخاصة نحو العلم .

وبـدأت هذه الحركة مع بدايـة القرن . ولكن بعـد سنة 1930 بشكـل خاص تميـزت شبيبـة متكـاثرة بهـذا الشأن ، سـواء في ڤيتنام بـالذات ام في فـرنسا حيث وصلت إلى المـدارس الكبـرى العلمية والتقنية . ان ضخامة هذه الحركة الاخيرة قلما تأثرت بزوال الاستعمار .

الشعب الڤيتنـامي والعلم ـ بفضل المؤسـسات التي اقامهـا النظام الاستعمـاري (وربما بـدون علمـه) تم تحقيق برنـامج المصلحين الأوائـل من الوطنيين ، بشكـل مختلف قليـلاً عن مـا كـانـوا يأملون . فقد اندفع المثقفـون الڤيتناميـون متحررين فعـلاً من الثقافـة الصينية وطـالبوا بنصيبهم من الثـروة الكـونيـة . وعلى الصعيـد العلمي بشكـل خـاص ، بدا الاكثر مـوهبـة من بينهم مسـاوين للأوروبيين ، محطمين هكذا جو التبعية والاعتبار الذي كان ، اكثر من القوة بكثير ، سند الاستعمار . إنّ فكرة التبعية المرتكزة على قيم أخرى غير الأهلية الشخصية ، بدت غير محمولة في نظر النخبات الڤيتنامية المتحررة ، فقد اقترن الانعتاق الفكري بالاستيلاء على التحرر السياسي . وأصبح من المؤكد ان الوطنية المتعصبة والمحافظة لم تكن صحيحة الرؤية . ان دراسة العلوم والتقنيات كانت اكثر من الاخلاق الكونفوشية ، معلّمة الحرية . هذه الدراسة وحدها تستطيع الوصول إلى الاستقلال الوطني .

ولهذا نسجّل على موازاة ظهور المطبعة ، نشر العديد من الترجمـات ، وتبين التعابيـر التقنية الغربية . منذ بداية القرن وجدت المعجميـة مكاناً واسعـاً لها في بعض المجلات مثل نام فونغ ، وتري تان ، المدعومة بالعديد من النشرات المعاصرة مثل باك كوا ، جياو ـ دوك ـ فـو ـ تونـغ ، فان هاو آنشاو ، في جنوب ڤيتنام ؛ فان سو ديا ، كوا هوك ، تونغ توك ، في شمـال ڤيتنام . وتم تـأليف معجميات علمية ، بمساعدة نماذج صينية يابانية في بادىء الامر ثم المعجمية الشـائعة بعـد ذلك . ومن المعجميات الأولى والاشهر كانت معجمية هوانغ كزوان هان (هانوي ، 1942) .

والعديد من الاعمال من هذا المستوى موجودة الآن ، ويكسب تعليم العلوم باللغة الڤيتناميـة باستمرار ارضاً جديدة : فقد أصبح رسمياً في هانوي سنة 1946 ، وفي سايغون سنة 1961 .

هذا الفارق يدلّ على أنّ هذا القياس كان مشروطاً بعدة عوامل لعبت ادواراً مختلفة في مختلف بلدان جنوب شرق آسيا . ولم يكن الحل سهلاً . فالاساتذة لم يكونوا مؤهلين من زمن طويل للتعبير باللغة الڤيتنامية . والكلمات لم تكن مترجمة بشكل موحد . ومن جهـة اخرى يتـطلب صنع الكتب الصغيرة والكبيرة الاسـاسية عن طـريق ترجمـة الكتب الغربيـة ، اشخاصـاً مميزين ، كثيـري العدد وحسني التجهيز . فضلاً عن ذلك ان هذا العمل له فائدة ضعيفـة جداً ، بسبب تـطور العلم بسرعـة وبسبب ضآلة عدد الكتب الصادرة .

وايضاً إذا كان تعليم العلوم باللغة الڤيتنامية قد اصبح جاهزاً على مستوى ابتدائي ومهني ، فان الأمر لم يكن كذلك بالنسبة إلى التعليم العالي وإلى البحوث . ومشكلة اللغة تقارب ايضاً مشكلة العلاقات بين الثقافتين الڤيتنامية والغربية ، والتي ظهرت تجاهها ثلاثة مواقف نموذجية :

أولاً : ان الثقافة واحدة فلا يمكن تمثل قيم منها وترك القسم الآخر ؛

ثانياً : يجب تدمير كل شيء وبناء شيء ما من جديد (الماركسية) ؛

ثالثاً : يجب الاحتفاظ بالروح وبالماضي ، واكتساب العلوم والتقنيات الغربية . وهذا الموقف الأخير الذي ساد عموماً في ڤيتنام المعاصرة ، اتاح تأهيل شخصيات علمية ذات فكر منفتح بشكل واسع ، عرفت كيف تحقق التوازن المنسجم بين العلم الغربي ، واسلوب العيش الڤيتنامي .

انتشار العلوم في ڤيتنام - في ڤيتنام الجنوبية قامت ثلاث جامعات (سايغون ، هوري ، دالات) تتقاسم بشكل غير متساوٍ بالنسبة إلى سكان عددهم 10 ملايين ، 1906 طلاب في الطب والصيدلة و 3160 طالباً في العلوم .

وكان فيزيائيون وبيولوجيون ڤيتناميون من ذوي القيمة يعملون في مختلف مختبرات البحث الفرنسية : مثل المجلس الوطني للبحث العلمي ، ومختبر اورسي ، ومختبر ساكلي ، ومدرسة دار المعلمين العليا، الخ . وهكذا اشتهر نغوين فوك بوهو ، مدير إحدى المجموعات في معهد كوري ، بأعماله حول السولفون ضد الجذام ، والهيدرازيد ضد السل ، والمواد المسببة للسرطان أو الكابحة له .

ورغم وجود طب صيني ڤيتنامي ناشط ومرتكز على بعض الكتب الممتازة احياناً ،تقدم الطب والصيدلة الغربيان ، منذ ظهورهما ، تقدماً سريعاً . وقد أثار غزو ڤيتنام بمناهج استطبابية اجنبية وما يزال يثير ردات فعل في العقلية الشعبية . وبعض هذه الردات ، على الصعيد الاقتصادي، تفسر اقتران حقبة طرد الاستعمار بعودة إلى الاستطباب التقليدي ، الأقل كلفة بكثير .

ولكن على العموم ، وخاصة في المراكز المدينية استبدل هذا الاستطباب بالطب العلمي . هذا الاستبعاد يعود الفضل فيه إلى الصناع المشتغلين في المختبرات ، وإلى مسؤولي الصحة ، وإلى الدكاترة في الطب والصيادلة الحكوميين المتدربين في مؤسسات باستور وفي المدارس أو كليات الطب في هانوي وسايغون . فتحت ادارة الكسندر يرسين Yersin (1863-1943) الذي أدّى اكتشافه للعصية الطاعونية في هونغ كونغ (1894) إلى جعله مشهوراً ، تخرّجت اول دفعة من الاطباء الهند صينين من هانوي Hanoï سنة 1907 . وتخرجت اول دفعة من الدكاترة في الطب سنة 1936 . وبدأ التعليم الطبي - الصيدلاني في سايغون سنة 1947 . ومنذ سنة 1962 اصبح لكل من الطب والصيدلة كلية على حدة ، في حين انشئت كليه مختلطة في هوي سنة 1961 .

وتأكدت قيمة وقدرة التكيف لدى الاطباء المؤهلين في ڤيتنام وتمثلت بحالة نغوين ڤان تنه . فقد تخرج من الدفعة الاولى من الاطباء الهند صينيين أو ضباط الصحة (1907) ، وتجند ونقل إلى

فرنسا سنة 1914 . والتفت اليه البروفسور لانلونـغ ؛ فتابـع دراسته واصبـح يعمل داخـل مستشفيات باريس (1917) . واتبع هذا المثال بعد ذلك على نطاق واسع .

تقيم ڤيتنـام علاقـات علمية مـع اشهر المـراكز العلميـة العالميـة . ولقد ارسلت العـديد من اصحاب المنح الدراسية الذين بفضل اجادتهم للفرنسيـة والانكليزية ، استطاعوا بلوغ درجة جـدّيـة على صعيد البحث أو التقنية . وتعتبر ڤيتنام من هذا الوجه أحد بلدان جنـوب شرق آسيـا ذات النمو الملحوظ تماماً .

مراجع الفصل السابع

BUU HIEP, *La médecine française dans la vie annamite,* Hanoï, 1936; DANG NGOC THUAN, *Croyances et pratiques obstétricales traditionnelles des Vietnamiens, Saïgon, 1961; DÀO DUY ANH, Viet-nam van hoa su cuong (Abrégé de l'histoire de la civilisation vietnamienne),* Saïgon, 1939; HUARD (P.) et DURAND (M.), *Connaissance du Vietnam,* Hanoï, 1954 (Publications de l'École française d'Extrême-Orient); LE QUY DON, *Kiên van tiêu luc,* 1777; LE VAN TRIEN, *Les préjugés des Vietnamiens dans la conception de la médecine occidentale,* Hanoï, 1952; LICH SU THU-DO HA-NOI *(Histoire de la Capitale Hanoï) Nhà Xuât ban Su-hoc-Viên Su Hoc,* Publications de l'Institut des Etudes historiques, Hanoï, 1960; NGUYEN VAN HUYEN, *La civilisation annamite,* Hanoï, 1944; NGUYEN VAN NHU, *L'enseignement médical au Vietnam à la croisée des chemins,* Saïgon, 1960; PHAN HUY DAN, *Quelques suggestions sur la réorganisation sanitaire au Vietnam, tirée de son histoire médicale,* Paris, 1949; PHAM VAN DIEN, *Quelques suggestions sur l'éducation de la masse et sur l'organisation d'un service en matière d'hygiène sociale au Vietnam,* Hanoï, 1953; THÀNH-TICH, *Nam nam hoat-dông cua Chinh-phu (Résultats de cinq années d'action du gouvernement),* Saïgon, 1959; *Bulletin de l'Institut indochinois pour l'Étude de l'Homme,* Hanoï; Publications de l'Institut Pasteur; Revue *Bach-Khoa,* Saïgon (à partir de 1956).

الفصل الثامن

اشراق العلم الحديث في الشرق الاقصى

التقدم الجديد في العلم الحديث في الصين (1911-1949) ـ من الثورة الجمهورية التي حدثت سنة 1911 إلى التحرر الذي وقع سنة 1949 ، حقق العلم الحديث في الصين انجازات جديدة رغم الظروف الاقتصادية والسياسية غير المؤاتية تماماً . فالتعليم التقليدي المرتكز على الكلاسيكيات الكونفوشية، وعلى الأدب، والفلسفة وعلم اللغات القديمة، توارى الآن امام تعليم حديث افسح مكاناً واسعاً للعلوم منذ المدرسة الابتدائية وحتّى الجامعات ،وتنشر المجلات الكبرى المعنية بالثقافة العامة مثل تونغ فانغ ـ تسا ـ تشي (مجلة الشرق) عادة مقالات تخصصية بالفيزياء والكيمياء وعلم الفلك . وفي المدن الكبرى ، وخاصة في پكين وشنغهاي ، تجتذب محاضرات تبسيط العلوم الشبان المتحمسين . و « حركة 4 أيار » التي عبرت ، سنة 1919 وعلى الصعيد السياسي ، عن عدائها لمعاهدة فرساي (التي حرمتهم ، ولصالح اليابان ، من القواعد التي كانت سابقاً لالمانيا في الصين) ، والتي تلحظ ، على الصعيد الادبي ، هجمة عامة للغة الشعبية المحكية ضد اللغة الفصحى « اللغة المكتوبة » ، هذه الحركة هي بذات الوقت حركة من اجل التحديث العلمي للصين ؛ فكتابات المناقشين في تلك الحقبة تبرز على المسرح « مسيو دي » و « مسيو سي » ، اي الديمقراطية والعلم (المرموز اليهما في الصينية باول مقطع من اسميهما) ، هذان المستشاران اللذان سوف يخلصان الصين من سباتها الالفي . هذه النزعة نحو العلم التي اجتذبت يومئذٍ كل « طبقة المفكرين » العصرية الصينية ، برزت بنجاح النشرات العلمية الحديثة ، مثل نشرات دار النشر الكبرى في شنغهاي المسماة المطابع التجارية (شانغ ـ أوين ـ شو ـ كوان) والتي أُسست في مطلع القرن وكان لها فروع في كل المدن الكبرى في الصين .

عندئذٍ تشكلت عدة مؤسسات كبرى للبحث العلمي . فقد بدأت المصلحة الجيولوجية في الصين التي أُسست سنة 1912 ، عقب سقوط الامبراطورية ، وتولى ادارتها متخصصون ممتازون تدربوا في جامعات الغرب ومنهم تنغ ون ـ كيان ، ثم ونغ ون ـ هاو ، بوضع كشف منهجي لموارد باطن الأرض الصينية ، ثم تولت نشر خارطة جيولوجية مفصلة . ولم تكن اكاديمية العلوم (أكاديميا سينيكا) ، التي تأسست سنة 1928 في پكين من قبل الحكومة الجديدة ، حكومة كو ـ مين ـ تانغ ، والتي كان رئيسها الأول المربي الكبير تساي يوان ـ پي ، هيئة علمية مثل مثيلاتها في

البلدان الغربية ، بل كانت ايضاً هيئة واسعة للبحوث الجماعية ، تضم معاهد متخصصة في اهم فروع العلم الحديث . وكان اعضاء هذه الاكاديمية يقومون بمسح ووضع جداول بالنباتات وبالحيوانات الصينية ، ويتفحصون بقايا « هوموبكيننسيس» ، ويعالجون مشاكل تخصيب التربة وينشرون المذكرات حول الرياضيات، ويدرسون الظاهرات الفلكية ، مثل كسوف الشمس الذي حصل في 21 كانون الاول سنة 1941 . وفي پكين تأسست سنة 1928 هيئة اخرى للبحوث العلمية ، هي الاكاديمية الوطنية في بكين ، التي اهتمت ايضاً وبآنٍ واحد بالعلوم الفيزيائية والطبيعية وبالعلوم الانسانية ، وكانت مواردها المالية تأتي من « التعويضات » الفرنسية القديمة للبوكسر (وهي تعويضات تركتها فرنسا لصالح الصين شرط ان تحتفظ بالرقابة عليها) .

ولكن هذه النهضة النسبية للعلم الحديث كانت ما تزال محدودة بفعل الحالة العامة التي تعيشها البلاد . فسقوط ملكية العهد القديمة سنة 1911 ، لم يؤدّ إلى تجديد حقيقي للدولة وللمجتمع الصيني . فالاسباب التي كانت تعترض في ايام الامبراطورية نهضة العلم الحديث وانتشاره الواسع ، ما زالت قائمة . والجمود العام في الاقتصاد الصيني حرم البحث العلمي من الحافز القوي الذي تقتضيه متطلبات التقدم الزراعي والصناعي . فقد كانت كل منطقة تعيش منكفئة على نفسها ، والجماهير الصينية الداخلية الضخمة ، وكذلك جماهير الفلاحين ، تتبع التطور الذي اصاب بعض المناطق المميزة مثل كانتون وشنغهاي والذي اصاب ايضاً بعض طبقات المجتمع الاكثر تقدماً مثل المفكرين (الانتيلجنسيا) أو مثل البرجوازية المدينية . ان اشعاع العلم الحديث بقي محصوراً ضمن حدود ضيقة ، من الناحية الجغرافية ومن الناحية الاجتماعية ، وهكذا كان نصف الاطباء الصينيين من ذوي التأهيل الغربي ـ عشية الحرب العالمية الثانية ـ متمركزين في منطقة شنغهاي وكانتون وحدها ، وان عدداً ضئيلاً من بينهم كان يقيم خارج المدن الكبرى . فضلاً عن ذلك كان ضعف الحكومة المركزية السياسي والمالي يمنعها من القيام بسياسة انمائية علمية حقيقية . وانه لذو دلالة ان تكون فروع العلم التي لا تتطلب تجهيزات ضخمة ، هي الاكثر ازدهاراً مثل الجيولوجيا وعلم التربية الزراعية ، وعلم النبات وعلم الحيوان ، وكلها وصفية ، وكذلك الرياضيات .

وأخيراً يجب ذكر عدم الاستقرار السياسي وعدم الأمن العسكري : فقد كانت الحروب الاهلية ، والحروب الخارجية تتعاقب تقريباً بصورة دائمة في الصين منذ سقوط الامبراطورية حتى مجيء النظام الشيوعي . وأدّى الاحتلال الياباني بشكل خاص إلى اجبار الجامعات والمؤسسات العلمية على الانكفاء ابتداءً من شنغهاي ونانكين وبكين ، عدة آلاف من الكيلومترات باتجاه الحدود البعيدة في الجنوب الغربي حيث احتفظ « كو ـ مين ـ تانغ »بقواعد له . وأدّى الاحتلال الياباني للصين إلى خسائر في المخطوطات والكتب والمستندات والمعدات العلمية ، وإلى توقف البحوث التي بدىء بها .

لا شك ، في هذه الظروف الصعبة ، ان نشاط العلماء الصينيين قد بقي واستمر بشجاعة كما تدل على ذلك لائحة تتضمن 139 دراسة نقلت خلال الحرب إلى مجلات علمية انكليزية عن طريق « مكتب التعاون العلمي الصيني البريطاني » ، وكان المحرك الدائب هوج . نيدهام

Needham[1] . وعلى هـذه اللوائح ذكـرت دراسات حول الحقول الكهـرمغناطيسيـة وحـول الغـدة الـدرقية ، وحـول قاعـدة هاردي ـ ليتلـوود . ولكن في الاجمال ، كـانت هـذه المـراكـز العلميـة المنكفئة في جبال الجنوب الغربي لا تطمح إلى أكثر من الاستمرار في البقاء . فكل حياة علمية قد توقفت في مدن الشمال الكبرى والشرق المحتلين من قبل اليابانيين . وكانت الحرب العالمية الثانية بالنسبة إلى العلم الحديث في الصين حقبة جمـود نسبي ، في حين كانت بـلاد المحور والـولايات المتحدة وبريطانيا تحقق تقدماً هائلاً نظرياً وعملياً .

الحيـاة العلمية في الصين الشعبيـة منذ 1949 ـ منـذ اعادة تنـظيم اكاديميـة العلوم (اكاديميـا سينيكـا) سنـة 1955 ، اصبـح البحث العلمي متمـركـزاً بقـوّة ضمن مختلف المعـاهـد التـابعـة للاكاديمية ؛ وفي أواخر الخطّة الخمسية الاولى ، سنة 1957 ، كانت هذه المعاهد تعد 51 معهداً ، يعمل فيها 5000 باحث مميّز . وفي سنة 1958 احصي 848 منشأة للبحث العلمي ، منهـا 170 للعلوم الاسـاس ، و 415 للتطبيقـات الصناعيـة ، 134 للبحوث التـطبيقية في التـربية الـزراعيـة وللعنـايـة بالغابات ، ولتربية الماشية وصيد الاسماك ، و 101 للطب والصيدلة والصحة ؛ وكـان مجموع هـذه المؤسسات يشغّل 32500 بـاحث موصـوف ، منهم 6000 يعملون في البحث الاساس . صحيـح ان هذه الارقام التي تعود إلى سنة 1958 ، تغـطي ليس فقط معاهـد اكاديميـة العلوم ، بل تغـطي أيضاً الباحثين التابعين لمختلف الوزارات أو السلطات المحلية ، ممّا يوحي أنّ جهد المركـزية المبـذول سنة 1955 لـم يؤت تماماً ثماره .

هذا البحث العلمي كان بحثاً مخططاً . وهكذا فيما خص الحقبـة بين 1955 و 1957 ، ركّزت اكاديمية العلوم نشاطها على احد عشرة موضوعاً كبيراً منهـا : الاستخدام السلمي للطاقـة الذريـة ، مشـاكل التعدين ، البحوث حول البترول وجيولوجيته ، وكذلك على المحروقـات التركيبيـة ، وعلى علم الـزلازل ، والبنيات التي تقـاوم الهزات الأرضيـة ، ثم الـتجهيز والإفـادة من وديـان الانهـار الكبرى ، ثم احصاء المـوارد المـداريـة ، وتحديـد المناطق الـطبيعية في الصين ، ثم المضـادات الحيوية والمركبات الكيميائية المكثفة العالية .

ولكن هذا التركيز في النشاطات العلمية اقترن بلا مـركزيـة واسعة . فـالعلم الحديث يهـرب بنفسه من بعض المناطق المميزة حيث اقتصر تمركزه وتحدّد ، لينتشر في مجمل البلد .

تلك هي حال الاستكشاف المنجمي والدراسات الجيولوجيـة ، الملاحقـة بنشاط في سهب الشمـال الغربي وفي سـلاسـل جبـال « التيبت » ؛ ونصبت شبكـة كـاملة من المحـطات الانـوائيـة ومحطات الرصد المائية عبر كل البلاد . ووضعت دراسات متخصصة حول أنهار الجليـد في تيان ـ شـان ، على الحدود الســوفياتيـة الشماليـة الغربيـة ؛ وعقد اتفـاق بين اكاديميـة العلوم في موسكـو واكاديمية العلوم في بكين ، من اجل دراسة معمقة لحوض نهر الآمور .

---

(1) تأسس هذا المكتب بمبادرة من البرتش كانسل وهي هيئة ثقافية بريطانية كبيرة ، ومن الوزارة البريطانية للانتاج . وكان دوره يقتصر على تأمين مساعدة مادية وتقنية ، للعلماء وللأجهزة العلمية الصينية في الصين الحرة . راجع ج ود . نيدهام ، «Science outpost» (العلم في الخارج) لندن 1948 .

وتـوسعت منطقـة نشاط العلم الحـديث وكذلـك المنطقـة التي تسيطر عليهـا فعلاً الحكـومـة المركزية وتديرها .

ويوجد علاقة اكيـدة بين متطلبـات التخطيط الاقتصـادي وتوجـه البحث العلمي . أما اختيـار علم الزلازل « كموضوع كبير » فإنه يتجاوب مع احتياجات التوسّع الصناعي في مناطق ما تزال غيـر معروفة تماماً لهذه الجهة . ومعظم المواضيع الأخرى ذات فائدة مبـاشرة وأكيـدة من اجل السيـاسة التنموية الاقتصادية ، الملاحقة منـذ اطلاق أول خـطة خمسية سنـة 1952 . ولكن تفحص التقاريـر المقدمة إلى اكاديمية العلوم ، ونشر « اكتا سيانتيا سينيكا » ، الذي حرر باللغـة الانكليزيـة وخصص بصورة اساسية لجماهير الخارج ، يـدل على ان البحث الاساسي لم يكن مهمـلاً هـو ايضـاً ، مثلاً في الرياضيات وفي الفيزياء . ومن بين الوجوه الكبرى في البحث الاساسي ، يمكن ذكر الـرياضي هوا لو ـ كينغ ، والفيزيائي تسين هيو ـ سن ، والبيولوجيين والطبيبين تشونغ وي ـ لان وتشانـغ هياو ـ نسين . وقام تعاون وثيق بين هذا الجيل ، ورجال امثال الجيولـوجيين لي سو ـ كـوانغ وونـــغ ون ـ هـاو ، والعالم بـالانواء تشـوكو ـ تشين ، الـذين انضموا إلى النـظام الشعبي بعـد ان ابـرزوا العلم الحديث الصيني في ظل النظام السابق .

ان الحيـاة العلمية الصينيـة قد اتّسمت ايضـاً باتسـاع اشعاعهـا الاجتماعي . فقـد تآلف مـع الكتب والافـلام والمحاضـرات والمعارف مـلايين العمال الـذين اقتصر افقهم الثقـافي حتى ذلـك الحين على القـواعد الخـرافية في الضـرب بالـرمل وكشف الغيب (قـواعد الهـواء والماء « فينـغ ـ شوي ») ، لقد تآلفوا جميعاً مع المفاهيم العقلانيـة الحديثـة المتعلقة بـالعالم المـادي والكائنـات الحيـة . ان الاحصاءات المـذكورة في المنشـورات العلميـة الصينيـة منـذ سنـة 1949 مفيـدة بهـذا الشـأن ، رغم ان مؤلفيهـا اهملوا التمييـــز بين المؤلفـات الاســـاسيـة ومؤلفـات التبسيط (صـورة رقم 34) .

ومنذ وصول اليسوعيين إلى الصين في أواخر القرن السادس عشر ، ترسخ العلم الحديث في هـذا البلد بتفاعليـة خارجيـة تماماً ، بواسـطة العلماء الغـربيين والعلمـاء الصينيين المتـدربين في مؤسساتهم . هذا العلم ذو المنشأ الغربي تجـاهل تمـاماً العلم الصيني التقليـدي ، كما تجـاهلت البورلجوازية الحديثة وطبقة أهل الفكر الجديدة في المدن ظروف الحياة ومشاكل الشعب الريفي .

ان احدى اصالات الحياة العلمية في الصين الشعبية هي محاولتها ـ في الحالات التي تكـون فيها التجربة تستحق العناء ـ اجراء تآلفٍ تركيبي بين المعرفة التقليدية والعلم الحديث .

والمثل الاكثر بروزاً هو هنا من الطب . في ظل النظام السابق ، كان الطب التقليدي ممنـوعاً بصورة رسمية ومعرضاً للملاحقة ، في سنـة 1949 كان يـوجد ، رغم كـل شيء ، اكثر من 000 350 طبيب تقليدي في العمل ، مقابل 000 20 طبيب عصري . ومن اجل الاستفـادة ، بآن واحـد ، من هـذا الرأسمـال البشري ومن العنـاصر الصـالحة التي يمكن ان تحتـويها التقنيـات الصينية القـديمة (المعـالجة بـوخز الابـر وبالكي ، الخ) ، تمّ فتح معـاهد للطب التقليـدي ذات صفة رسميـة ، في مختلف المـدن ؛ وفيها يُعلّم ، بـآنٍ واحدٍ ، الـطب القديم وبعض العنـاصر الضـرورية من الـطب

عدد المؤلفات المنشورة	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958
علوم طبيعية (بوجه عام)			12	7	1	9	22	17	19	109
الرياضيات	5	7	35	33	84	80	108	109	146	157
الفلك	1		13	10	20	12	26	35	36	36
الفيزياء	6	9	14	26	38	46	80	79	110	159
الكيمياء	3	8	13	26	36	53	56	68	91	112
الجيولوجيا		4	8	18	53	135	93	155	203	286
البيولوجيا	7	9	8	11	19	24	46	42	49	65
علم النبات	1	5	5	7	25	33	59	42	63	92
علم الحيوان		2	5	4	11	24	24	17	35	39
الجغرافيا	2	10	22	24	108	100	173	230	229	181
الطب	5	30	135	178	204	300	389	552	634	930
تربية النبات والحيوان	6	90	176	179	273	410	462	1 277	994	2 375

صورة 34 ـ احصاءات النشرات العلمية الصينية (1949-1958) .

الحديث . وهذه المحاضرات ، مفتوحة ايضاً امام الاطباء التقليديين العاملين . وبذات الوقت جرى احصاء الصيدلية الغنية جداً ، ويجري فحص قيمة التقنيات القديمة (فحص النبض ، والوخز ، الخ) في ضوء النظريات الحديثة حول النشاط العصبي ، وخاصة نظريات بافلوف .

لم يقطع العلم الصيني الحاضر صلته بماضيه . وهناك اكثر من رمز في كون مصالح مكتب الانواء (متيورولوجيا) في بكين ، ما تزال قائمة في حي متواضع من المدينة القديمة ، قرب باب التضامن الوطني (كيان ـ كويو ـ مان) ، عند النقطة القريبة من سور بكين ، حيث كان الفلكيون المسلمون منذ القرن الثالث عشر ، التابعون لملوك المغول يمارسون علم فلك كمّياً موقعياً كان هو الاكثر تقدماً في زمنهم ، وحيث عمل في القرنين 17 - 18 ماتيو ريشي M. Ricci وخلفاؤه .

ولكن العلم الصيني اتجه بذات الوقت إلى الاندماج في الحياة العلمية الحديثة . فشارك العلماء الصينيون في العديد من المؤتمرات العلمية الدولية . ورغم ان الظروف السياسية العالمية لم تتح للصين ان تشارك مباشرة في السنة الجيوفيزيائية الدولية ، فان نشاطاً ضخماً قد بذل في البلد بهذه المناسبة ؛ فافتتح مخطط كبير لقبة السماء (بلانيتاريوم) في بكين ، واقيمت ثلاث وتسعون محطة موزعة عبر البلد كله حتى هضبة التيبت لرصد النشاط الشمسي ، والمغناطيسية الارضية ، والأقمار الصناعية ، الخ .

ان الكتابة الافكارية الصينية ليست ، مع ذلك ، عامل تيسير في تلاحم العلاقات العلمية بين الصين والبلدان الاجنبية . وهي لا تسهل لا استخدام الاجنبي للاعمال الأصيلة الصينية ، ولا تفحص اعمال الغربيين من قبل المتخصصين الصينيين . ان الاتجاه في الصين ، يميل إلى تلخيص مجلاتهم العلمية ونقلها إلى الانكليزية أو الروسية ، بل وحتى نشر بعض المجلات بالانكليزية مثل « سيانتيا سينيكا » أو « تشاينا مديكال جورنال » . واعتماد الكتابة ، بصورة ثانوية ، بالاحرف اللاتينية ، وفقاً لاسلوب التسجيل الصوتي المسمى « پن ين » هو خطوة اضافية في هذا الاتجاه . لا شك ان الفكرة لم تخطر بعد في استعمال هذه الكتابة الأبجدية لتحل محل الحروف

الافكارية التقليدية ، بل فقط لاستخدامها في مكافحة الامية ، وفي عدد من الاستخدامات التقنية ، كالاتصالات اللاسلكية ؛ ومن مكاسب هذا المشروع ، أشارت التعليقات الرسمية المنشورة سنة 1958 ، إلى امكانية الصينيين نقل العبارات العلمية والتقنية مباشرة كما هي : بدلاً من محاولة خلق (صنع) « رموز فكرية » جديدة أو تركيبات ايديوغرامية جديدة .

العلم الياباني في القرن العشرين ـ ان التطور الذي انطلق عقب ثورة الميجي ، وبخلال العقود الاخيرة من القرن التاسع عشر قد استمر بدون عقبات في القرن العشرين ، ومن دون الصعوبات التي اعترضت ، في نفس الحقبة ، في الصين ، انتشار العلم الحديث ؛ وبالامكان هنا ان نكون اكثر ايجازاً .

منذ مطلع القرن العشرين ، بدت المشاركة اليابانية في الحياة العلمية الدولية ناشطة جداً ، كما تدل على ذلك « قضية كيمورا » الشهيرة .

كان هيساشي كيمورا Kimura فلكياً يابانياً مكلفاً بالقيام ، في بلاده ، بأرصاد حول تغيرات المحور الارضي ، في اطار الاعمال المقامة بآنٍ واحد على المستوى الدولي . وكانت النتائج التي حصل عليها تختلف قليلاً عن الصيغة البسيطة التي قرّرها زملاؤه في الغرب ، واكتفى الكثيرون بتفسير هذا الفرق عن طريق « التقنية المتدنية » التي كانت يومئذ متاحة للمراصد اليابانية . ولكن كيمورا عاود حساباته وتوصل إلى اثبات وجود « حدّ Z » يؤكّد ارصاده ويغير الصيغة التي ارتضاها الفلكيون الغربيون ؛ واستطاع هؤلاء بعد التفحص ، التثبت من حقيقة هذا التعبير التجريبي الذي فاتهم .

هذه الطرفة ، التي اعطيت يومئذ دعاية واسعة في كل الصحافة اليابانية من اجل بواعث اكيدة تتعلق بالاعتبار الوطني ، تدل على بلوغ العلم الياباني سن الرشد الكامل .

فيما بين الحربين العالميتين ، شارك العلماء اليابانيون مشاركة تزايد نشاطها في معظم المؤتمرات العلمية الكبرى الدولية ، وخاصة في مؤتمرات الجمعية العلمية للپان باسيفيك ، التي ضمت علماء من كل البلدان المحاذية للپاسفيك ؛ وجرّ المؤتمر الذي عقد سنة 1926 ، في طوكيو ، إلى اليابان ، ولأول مرة ، اجتماع رجال العلم الاجانب . ومن جهة أخرى ، كانت الحرب العالمية الثانية ، بالنسبة إلى العلم الياباني ، حقبة انكفاء ، لا حقبة جمود . وكما في المانيا ، ولأسباب مماثلة ، حققت فروع العلم التي يمكن ان تخدم مباشرة العمليات العسكرية واقتصاد الحرب ، خطوات تقدم مهمة ، مثل « الابصار » (من اجل الحرب الجوية ـ البحرية) ، وكيمياء تركيب المحروقات ، ألياف النسيج ، والكاوتشوك ، والمواد الغذائية .

ان المبادلات العلمية بين اليابان والبلدان الاجنبية عادت إلى طبيعتها بدون مضايقات منذ سنة 1945 وكثيراً ما تعقد مؤتمرات دولية في اليابان بالذات ، كما كان الحال ، حديثاً بالنسبة إلى المؤتمر الدولي للفيزياء (كيوتو ـ 1953) ، أو المؤتمر الدولي لعلوم العين والبصر (جيفو ، 1957) . وكافأت اعلى الاوسمة الدولية ايضاً اعمال الفيزياء النووية التي قام بها البرفسور هـ . يوكاوا Yukawa ، الحائز على جائزة نوبل لسنة 1949 ، ومدير أول محطة ذرية يابانية في

توكايمولا ، أو البحوث الرياضية التي قام بها ك . كوديرا Kodaira ، حامل مدالية فيلد لسنة 1954 . وكون هيروشيما وناغازاكي قد نالتا سنة 1945 الامتياز الكئيب بان استخدمتا كموضع تجربة للاسلحة التدميرية الضخمة ، يفسر ، فضلاً عن ذلك ، النهضة الحديثة لأعمال البيولوجيا والطب المتعلقة بتأثير الاشعاعات الذرية على الجسم البشري .

والعلماء اليابانيون ، كزملائهم الصينيين ، عانوا في مجال المبادلات العلمية الدولية من حواجز اللغة والكتابة . وقد تغلّبوا هم عليها ، وذلك بنشر مجلات باللغات الغربية ، مثلاً في مجالات الفيزياء والكيمياء ، أو بإضافة خلاصات تحليلية بالانكليزية لمنشوراتهم .

ان المشاركة اليابانية بالسنة الجيوفيزيائية الدولية التي تميزت بارسال بعثة إلى القطب الجنوبي ، وبقياس النشاط الاشعاعي في الفضاء العالي ، وبالعديد من الأرصاد الأخرى ، تقدم هنا المناسبة لوضع نقطة نهائية لدراسة العلم الياباني ، الذي اعتبر كتيار مستقل في الفكر العلمي العالمي . ان احفاد الرياضيين الكبار اليابانيين الماضين امثال سكي كووا Kowa ، والفلكيين الكبار من حقبة طوكوغاوا Tokugawa ، مثل ناكان جينكي Genkei ، قد دخلوا الآن ، وبشكل كامل وناشط في حلبة العلم الكوني الشامل ، ولم يعد أيّ شيء يسمح بعزلهم عنه

مراجع الفصل الثامن

J. NEEDHAM, *Chinese science,* Londres, 1945; J. NEEDHAM et D. NEEDHAM, *Science outpost, Papers of the sino -british science cooperation bureau, 1942 -1946,* Londres, 1948; *Academia sinica,* 1928 -1928, s.l.n.d.; *List of publications of the national Academy of Peking,* Pékin, 1948; *Kouo -li tchong -yong yen -kieou -yuan kai -kouang* («État général de l'activité de l'Académie nationale centrale»), Pékin, 1948 (avec index des publications des principaux collaborateurs); *Scientia sinica,* Pékin, depuis 1949; *Chinese medical journal,* Pékin.

S. H. Gould, ed., *Sciences in Communist China,* Washington, 1961; L. A. ORLEANS, *Professionnal manpower and education in Communist China,* Washington, 1961; C. NUNN, *Chinese publishing statistics, 1949 -1959,* Ann Arbor, 1960.

الفصل التاسع

المنظمات العلمية الدولية

ليست الحياة العلمية الدولية اختراع القرن العشرين . فمنذ العصور القديمة كان العلم يدور عن طريق تبادل الرسائل والبرقيات ، وكان ينتقل من الفم إلى الأذن (سماعاً) اثناء الزيارات والرحلات التي يقوم بها العلماء والموسوعيون . وبعدها ، وخاصة بخلال القرن الماضي ، جاءت النشرات العلمية ، التي تصدر بصورة دورية نوعاً ما، تقدم وسيلة أقلّ شخصية إنما أكثر فعالية لنقل الافكار عبر الحدود . الكثير من هذه النشرات كان يستند ، وما يزال ايضاً ، على تجمعات من العلماء على الصعيد المحلي أو الوطني ، مجتمعات عالمة ، اتحادات ، اكاديميات . البعض من هذه التجمعات ، عن طريق قبول اعضاء اجانب ، اطلق في الماضي ، الحركة التي سوف تؤدي إلى الاتحادات الدولية .

وإذا كانت الاتصالات فيما بين العلماء ، من مختلف البلدان ، ضرورية بالتأكيد ، ودائماً ، فان تنظيم الاعمال المشتركة ، التي تشغل المختبرات أو المدارس الواقعة في اجزاء مختلفة من العالم ، ضمن مشاريع علمية جماعية ، لم يبدأ حقاً الا في مطلع القرن الأخير عندما تقرر وضع خارطة عامة للسماء ، من قبل عدد من المراصد . وانه لذو دلالة نوعاً ما ان يكون علم الفلك ـ الذي يحمل القاب الشرف الاكثر قدماً بين المجالات العلمية ـ العلم الاول الذي يطرح نفسه بعزم على الصعيد العالمي ، وان يبقى دائماً كذلك بعدها ، مع الجيوفيزياء [الفيزياء الارضية] ، على رأس الحركة الدولية . وظهرت اتحادات دولية متنوعة بخلال القرن التاسع عشر ، وشملت علوماً اخرى ، مع برامج مرتكزة اساساً على تنظيم المؤتمرات ، وايضاً على مهمات توحيدية تتناول الوحدات ، فالرموز ، والتسميات ، وطرق القياس . واصبح من الضروري ، بالفعل ، ان يقوم تفاهم دولي في هذه المجالات اذا اريدت متابعة التفاهم المتبادل واريدت القدرة على الافادة من اعمال الغير . واخذت المنظمات التي انشئت يومئذ ، اسم الاتحادات الدولية ، ووسعت كل منها صلاحياتها لتشمل احد المجالات العلمية الكبرى . وعمد بعضها إلى رعاية نشر الدوريات المتخصصة . ولم يكن لهذه الاتحادات عموماً ، لا العزم ولا الوسائل إلى تحقيق البحوث بذاتها : انها اساساً اجهزة اتصال .

ولادة ونشاط المجلس الدولي للاتحادات العلمية ـ كانت اول محاولة للتنسيق بين نشاطات

هذه الاجهزة المختلفة ، التي ظهرت بناء لمبادرة شخصيات أو جمعيات عالمية متنوعة جداً ، قد جرت في مطلع القرن العشرين من تسل منظمة دولية ضمت عدداً لا بأس به من الاكاديميات الموزعة في مختلف الدول . ولكن شحن هذه المنظمات قلّما استعد لتحقيق مثل هذا التنسيق ، بسبب الملاكات [والانظمة] المتنوعة جداً للاكاديميات وحتى بسبب عددها المتغير داخل مختلف الدول التي تزعم انها تمثلها .

وبعد الحرب العالمية الاولى ، بذل جهد جديد ادى إلى انشاء المجلس الدولي للبحوث العلمية ، مع برنامج طموح إلى حدٍ ما . وكان المطلوب التنسيق فيما بين النشاطات الدولية في المجالات العلمية الممثلة بالمنظمات أو الاتحادات القائمة ، ثم التصميم على انشاء اتحادات جديدة تغطي المجالات الاخرى غير الممثلة حتى ذلك الحين . فضلاً عن ذلك ، ولاول مرة ، بحثت مسألة التأثير على الحكومات في البلدان الاعضاء في المجلس ، للحصول على دفع جديد في بحوث ما تزال متطورة بشكل غير كافٍ . واضطر مجلس البحوث العلمية الذي ربما كان تشكيله مركزياً جداً ، إلى الخضوع لتغيير عميق ، وإلى اتخاذ عنوان « المجلس الدولي للاتحادات العلمية » (I. C. S. U) ، سنة 1931 ، مما يدل بالتالي على رغبة الاتحادات المنتسبة في الاحتفاظ باستقلال كبير في عملها . في الوقت الحاضر يضم المجلس ثمانية اتحادات تسمّى عامة ، يغطي نشاطها مجالات كاملة من العلم كالفلك والفيزياء والكيمياء والرياضيات والجيوديزيا والجيوفيزياء ، وعلم الفلك ، والعلوم البيولوجية ، والعلوم الجيولوجية ، كما يضم ستة اتحادات اخرى ، تسمّى متخصّصة ـ كاتحاد الكريستالوغرافيا مثلاً ـ مع المؤسسات الممثلة للدول المنتسبة .

وقد يبدو الاجتماع في الجمعيات المؤلفة من نمطي المندوبين ـ أولئك الذين يمثلون البلدان الاعضاء ، أو بصورة أولى المنظمات العلمية المناسبة ، داخل البلدان المنتسبة (اكاديميات ، مجالس بحوث ، الخ) ، واولئك الذين يمثلون الاتحادات الاعضاء ـ قليل الانسجام ، ولكنه يقدم في مجموعه نتائج جيدة . وعلى كل حال ، لقد توسع نشاط الاتحادات بشكل ضخم بخلال نصف القرن الماضي ، في قسم كبير منه ، بفضل معونات كبيرة جداً ، منحتها منظمّة الاونيسكو ، منذ تأسيسها . ان المؤتمرات والندوات التي نظمتها الاتحادات كثيرة جداً ، واللجان نشيطة جداً ، ولكن ، زيادة على عمل الاتحادات ، نظم المجلس بذاته لجاناً مشتركة وهيئات خاصة تعالج مشاكل خاصة تهم عدة اتحادات وهكذا ولدت اللجان الخاصة بعلم المحيطات (اوقيانوغرافيا) (SCOR) ، وبالبحوث القطبية الجنوبية (SCAR) ، وبالبحوث الفضائية (COSPAR) ، واللجنة الخاصة بالسنة الجيوفيزيائية الدولية (CSAGI) اثناء فترة الاعمال المماثلة .

وهناك منبثقات اخرى عن المجلس ، مثل « اتحاد مصالح علم الفلك وعلم الجيوفيزياء » ظهرت شديدة الفعالية من اجل تسهيل تركيز الجهود الوطنية والدولية .

والمثل الذي قدمه مجلس الاتحادات سرعان ما اتبع ، تحت رعاية الوكالات المتخصصة التابعة للأمم المتحدة وخاصة الاونيسكو ، بانشاء تجمعات اخرى دولية كبرى غير حكومية . من ذلك المجلس الدولي لمنظمات العلم الطبي (CIOMS) الذي ضم عدة عشرات من الجمعيات الدولية في هذا المجال . وقام بنفس الشيء اتحاد الجمعيات التقنية الدولية (UATI) في حقل

علوم المهندس . وأخيراً الاتحاد من اجل المحافظة على الموارد الطبيعية الذي يضم منظمات لحماية الطبيعة ، تحاول منذ زمن بعيد منع نهب وتدمير الموارد البيولوجية والمعدنية في كرتنا الارضية .

هذه الجهود الدولية ، الموضوعة تحت شعار الاستقلال بالنسبة إلى الحكومات ، لا تستطيع ، مع ذلك ، ان تنمو الا بفضل المعونات التي تأتيها ، إلى حدٍ ما ، مباشرة من هذه الحكومات بالذات ، سواء عن طريق الاونيسكو أو عن طريق منظمة الصحة العالمية ، أو عن طريق المنظمات المماثلة في البلدان المنتسبة ، مثل الاكاديميات . ولا تستطيع ايضاً ان تبلغ اهدافها تماماً الا اذا كان عملها قد عُرف ، وقدِّر ودعِم من قبل العدد الاكبر من العلماء والباحثين الذين يعملون في مجال تقدم العلوم في بلدانهم المختلفة . في هذا الاتجاه ، حسن النجاح الكبير في السنة الجيوفيزيائية الدولية ، بشكل واسع ، وضعاً لم يكن حتى الآن وما يزال غير مُرْضٍ .

الجهود فيما بين الدول ـ هناك نمط آخر من التنظيم ، هو الذي يدخل مباشرة الحكومات في تمويل وفي ادارة الاعمال العلمية ، وقد نهض ، بعد الحرب العالمية الثانية ، نهضة اكثر تأخراً ، انما تعتبر من عدة أوجه متمماً لجهد المنظمات العلمية غير الحكومية .

ومنذ ما يقارب أكثر من قرن ، توجد منظمات انشأتها الاتفاقات الدبلوماسية الدولية ، مثل المكتب الدولي للأوزان والمكاييل (1873) ، انما يتعلق الامر هنا بمؤسسات مخصصة لتكون نقطة التقاء لمناقشة المسائل الكبرى ، التي تتناول المعايير العلمية ، وعند الحاجة تتناول حفظ هذه المعايير ، وكذلك وضع الاتفاقات الدولية الجديدة ، كما هو الحال في الاتصالات اللاسلكية . ان مشكلة انشاء منظمات بين الحكومات مخصصة للبحث العلمي الخالص ، لم تُثر حقاً الا سنة 1946 ، في الامم المتحدة ، عندما صوتت هذه المؤسسة على قرار يدعو الامين العام للقيام باستقصاء واسع حول هذا الموضوع . ودونما رغبة في الدخول هنا في تفاصيل المصاعب التي لا تحصى والتي لقيها اولئك الذين عكفوا على هذه المشكلة ، قبل الوصول إلى نتائج محددة ، يمكن القول اليوم إن البرهان قد قُدِّم ، ليس فقط على امكانية انشاء مؤسسات بحثٍ بين الحكومات ، بل وأيضاً ، على الفعالية التي تستطيع هذه المؤسسات بلوغها تقديماً للعلم . إنّ غالبية المنظمات المماثلة لهذا التعريف هي اقليمية ، اي ان الدول المجتمعة فيها هي ، من الناحية الجغرافية ، متقاربة فيما بينها (المنظمة الاوروبية للبحث النووي (CERN) ، للبحوث الفضائية (ESRO) ، المعهد المتحد للبحوث النووية (دوبنا) ، الخ) ، مما يقدم مكاسب اكيدة من اجل الدفاع المشترك . الا ان الشكل العالمي ليس مستبعداً ، كما يظهر ذلك حديثاً انشاء المركز الدولي للحساب في روما .

ويجب ايضاً وبالطبع ، ذكر المختبرات ومعاهد البحوث التي انشأتها اجهزة بين الحكومات ، مهمتها الاساسية لا تؤدي بها صراحة إلى مثل هذه المشاريع ؛ تلك هي حالة « الاوراتوم L'Euratom » و « والوكالة الذرية الدولية » ، ومنظمة التعاون من أجل التنمية الاقتصادية (OCDE) . والحقيقة ، بعد هذه الانجازات الأساسية ، هي أنه من المحتمل ان يكون للبحوث العلمية مأخوذة بشكل تعاوني بين الدول أو بين مؤسسات كبرى دولية ، مستقبل ضخم .

ان الشروط الاكثر مؤاتاة لمثل هذه المنشآت ، قد وضعتها ، بوضوح ، لجنة من الاونيسكو : فهي تتضمن بالدرجة الاولى اهمية الجهد المالي الضروري لبناء الاجهزة التقنية والعلمية اللازمة من اجل البحث : ومثل المسرع الكبير للجُزئيات التابع لِ (CERN) (المنظمة الاوروبية للبحث النووي) يوضح تماماً هذا الاعتبار . ثم السمة الكثيرة العمومية في بعض الاعمال ، الدولية من حيث طبيعتها ، والتي تقتضي جهوداً جماعية : خارطة السماء ، علم المحيطات ، البحوث الفضائية . وأخيراً السمة الملحة ، المصلحة الأكيدة بالنسبة إلى كل الدول ، يجب ان تؤدي إلى تكاتف الجهود على صعيد دولي .

وفيما خص المكاسب المتوقعة من هذه الاعمال الجماعية ، يمكن ذكر انشاء فكرة صحبة دولية ربما يشكل العلم بالنسبة إليها الارض الاكثر ملاءمة ، ثم ضم الأمم المتخلفة في نموّها إلى الأمم التي تتمتع بتراث علمي اوسع .

يتحصل من تفحص مجمل هذه اللوحة ، التي تبقى غير مكتملة ، احساس بالغنى ، ولكن أيضاً احساس باللاتماسك لا يخلو من اساس واقعي . اننا نحس ، من جميع الجهات ، بمخاطر الاستخدامات المزدوجة ، والمزاحمات ، والتخليّ عن بعض المواضيع رغم اهميتها القصوى ، التي تنتج عن تعدد السلطات التي تحت رعايتها تتحقق الابداعات . لا شك ان قانون الانتقاء ، بفعل بقاء الاكثر اهلية ، يمكن ان يطبق على هذه الاجهزة كما على الاجهزة الحية ، ولكن هذا يؤدي إلى هدرٍ ضخم للموارد ، كالهدر الذي رافق التطور الطبيعي للانواع الحية . ان جهداً ذكياً ومتناسقاً يكون هو الاجدر بنا .

فهرس الاعلام

ـ أ ـ

- ب -

- ت -

ـ ث ـ

- ح -

- خ -

- د -

- ق -

- ك -

- ل -

- م -

- ن -

ـ هـ ـ

- و -

- ي -

فهرس الرسوم والجداول

فهرست

القسم الثالث ـ علوم الأرض والكون

القسم الخامس : الطب

القسم السادس : الحياة العلمية

هذه الموسوعة

ساهم في تأليف هذه الموسوعة أكثر من مئة عالم وباحث بإشراف البروفسور الكبير رينيه تاتون ، المدير العلمي للمركز الوطني للبحث العلمي في فرنسا .

وهي من أربعة مجلدات :

المجلد الأول :

العلم القديم والوسيط

من البدايات حتى سنة 1450 م .

المجلد الثاني :

العلم الحديث

من سنة 1450 إلى 1800 .

المجلد الثالث :

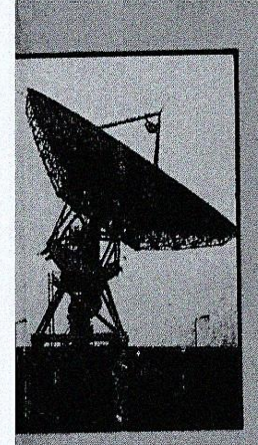
العلم المعاصر

القرن التاسع عشر .

المجلد الرابع :

العلم المعاصر

القرن العشرون .



المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع